

Korona - Messanlage
für 500 kV - Drehstrom und Erweiterungsmög-
lichkeit auf 400 kV-Gleichstrom.

Inhalts-Zusammenfassung

Der Bericht schließt sich an die Vorberichte, "Vorschläge für die Errichtung einer 400 kV-Korona-Messanlage für Drehstrom und für Gleichstrom" und "Erzeugung der Gleichspannung für eine Korona-Messanlage", an. Die Wirkungsweise der dreiphasigen Messanlage wird erläutert. Die Berechnung und Bemessung ist ausführlich wiedergegeben und auch auf die zweiphasige Gleichstromanlage ausgedehnt. Ein elektrisches Schaltbild und zwei Gebäudepläne geben einen Überblick über die Gesamtanlage.

25X1A

- I -

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. <u>Zweck der Anlage</u>	
II. <u>Wirkungsweise und grundsätzlicher Aufbau der Anlage:</u>	2
1.) Erzeugung der Wechselspannung	2
2.) Wechselspannungsmessung	3
3.) Wechselstrom-Verlustmessung	5
III. <u>Erweiterung der Meßanlage auf Gleichstrom:</u>	5
1.) Der mechanische Gleichrichter	6
2.) Schaltung der Gleichstromanlage	6
3.) Gleichspannungsmessung	6
4.) Gleichstrom-Verlustmessung	7
IV. <u>Hilfsbetriebe:</u>	7
1.) Kühlanlage	8
2.) Warte	9
V. <u>Luftabstände spannungsführender Teile.</u>	10
VI. <u>Räumlicher Aufbau der Anlage:</u>	10
1.) Gesamtanlage in einer Halle	12
2.) Transformatoren in Freiluftaufstellung	14
VII. <u>Berechnung der Drehstromanlage:</u>	14
1.) Leitungsarten	14
2.) Kapazität und Ladestrom	17
3.) Kondensator für Ladestrom-Kompensation	17
4.) Kompensations-Stromwandler	21
5.) Wattmeter für Korona-Messung	22
6.) Vorwiderstand für Wattmeter	26
7.) Meßfehler bei der Korona-Messung	35
VIII. <u>Berechnung der Ölkühlanlage:</u>	35
1.) Öltemperaturen	36
2.) Strömungswiderstände	42
IX. <u>Kurze Berechnung der Gleichstromanlage:</u>	42
1.) Mechanischer Gleichrichter	42
2.) Zündzeitpunkt-Beobachtung	43
3.) Kondensatoren	43
4.) Ladewiderstand	43

- II -

Anlagen - Verzeichnis

- | | |
|---|--|
| 1.) Bild 1: Maximaler Leistungsfehler | |
| 2.) Bild 2: Korona-Verluste am Al-Seil 52 Ø | |
| 3.) | Übersichts-Schaltplan |
| | Lib 7518 |
| 4.) | Gebäudeplan |
| | Lib 7519 |
| 5.) | Gebäudeplan |
| | Lib 7520 |
| 6.) | Kühlleistung |
| | 241 001 |
| 7.) | Schaltplan |
| | 73 278 |
| 8.) | Technischer Bericht über Berechnung und Bemessung des Kompensations-Stromwandlers (Verfasser: U-Ged) |

SECRET

- 1 -

SECRET

2. Zweck der Anlage.

Im Hinblick auf die ständig fortschreitende Elektrifizierung in allen Wirtschaftszweigen gewinnt das Problem der Energie-Übertragung auf große Entfernungen an Bedeutung. Die Wirtschaftlichkeit der Übertragung steigt mit der Übertragungsspannung. Neuere tritt der Gleichstrom in Wettbewerb mit dem Drehstrom. Voraussetzung für die Projektierung von hochgespannten Energie-Übertragungen mittels Freileitungen ist die Kenntnis der Korona-Verluste in Abhängigkeit von der Spannung und den Kenngrößen der Leitung. Die bisher bekannt gewordenen theoretischen Berechnungsmethoden sind jedoch nicht zuverlässig genug.

Die veröffentlichten Versuchsergebnisse weichen noch stark voneinander ab und sind oft mit behelfsmäßigen Mitteln zustande gekommen. Die wirtschaftliche Bedeutung der Korona-Verluste ist so groß, daß möglichst genaue Messungen angestrebt werden müssen. Eine Versuchsleitung muß deshalb wie die geplante Freileitung gebaut sein und auch unter den gleichen klimatischen Verhältnissen stehen. Messungen an einpoligen Anlagen ergeben keine genauen Unterlagen für Drehstromleitungen; denn die Ladungsträger wandern nicht nur zur Erde, sondern auch zu den anderen Leitern.

Aus diesen Gründen wurde die Errichtung eines dreipoligen Spannungsfeldes mit einem Mastbild und einer Spannweite wie bei einer Großanlage als Versuchsstrecke vorgeschlagen. Sollen neben Hohlseilen auch Bündelleiter untersucht werden, so empfiehlt es sich, für jede Leiterart ein gesondertes Spannungsfeld vorzusehen. Das Auswechseln der Leitungen bei einem einzigen Spannungsfeld nimmt zuviel Zeit in Anspruch. Die Wetterbedingungen ändern sich oft sehr schnell, sodaß bei zeitlich zu weit auseinanderliegenden Messungen die Vergleichsmöglichkeiten zwischen den Leiterarten eingeschränkt werden.

SECRET

SECRET

II. Wirkungsweise und grundsätzlicher Aufbau der Anlage.

1.) Erzeugung der Wechselspannung.

Die Spannung wird von drei Einphasen-Transformatoren geliefert. Die Nennspannung beträgt 500 kV, die maximale verkettete Spannung also 865 kV. Es ist auch möglich, in V-Schaltung einen un-symmetrischen Drehstrombetrieb, d.h. Erdschluß bei isoliertem Nullpunkt, mit 500 kV verketteter Spannung nachzunehmen. Mit der Sennleistung von 500 kV und 0,5 Amp. können die Transformatoren 3 Stunden lang nach dreistündiger Pause betrieben werden. Bei einer Spannung von $400 \sqrt{3}$ kV gegen Erde und einem Strom von 0,975 Amp. sind die Transformatoren für Dauerbetrieb ausgelegt. Außerdem kompensieren 500 kV-Drosseln mit 1 Amp. den Ladestrom der Leitung. Die Transformatoren reichen daher aus, um auch längere Leitungen mit mehreren Spannungsfeldern zu speisen und zu untersuchen. Auch bei kurzer Leitung bringen die Drosseln den Vorteil, daß die Kurvenform der Spannung verbessert wird.

Die Spannungsregelung geschieht in 50 Stufen mit Hilfe von Einphasen-Regeltransformatoren mit aufgebauten Öl-Lastschaltern. Der Spannungsprung von Stufe zu Stufe beträgt also 10 kV und ist klein genug, um die Korona-Anfangsspannung ermitteln zu können. Der Lastschalter hat motorischen Antrieb, sodaß die Steuerung vom Schaltpult in der Warte aus erfolgen kann.

2.) Wechselspannungsmessung.

Die Unterspannung der Prüf-Transformatoren wird über Wandler am Schaltpult angezeigt. Die Bestimmung der Überspannung nach dem Übersetzungsverhältnis ist indessen wegen der veränderlichen kapazitiven Belastung nicht genau genug.

Zur ständigen Kontrolle der Überspannung ist in die Erdleitung des Vorwiderstandes vom Spannungspfad des Wattmeters ein Weicheisen-Instrument eingeschaltet, an dem die Hochspannung direkt abgelesen werden kann.

An den Prüftransformatoren ist mit der Hochspannungswicklung eine Meßwicklung für 100 Volt und 5 Amp. herausgeführt. Diese Wicklung kann im Notfalle zur Leistungsmessung mit dem Wattmeter und zur Spannungsmessung benutzt werden. Wegen der größeren Ge-

- 3 -

SECRET

- 3 -

naurigkeit ist normalerweise die Spannungs- und Leistungsmessung mit dem Vorwiderstand vorzunehmen.

Für die Eichung der Spannungsmessungen steht eine ferngesteuerte Meßfunkenstrecke mit 75 cm-Kugeln zur Verfügung, die an die Wechselstrom- und Gleichstromleitungen angeschlossen werden kann. Der Kugelabstand wird auf elektrischem Wege am Schalt-pult angezeigt. Die innere Kugel hat einen isolierten Meßkreis-ausschnitt, sodaß auch ohne Überschlag nach dem Meßfeld-Verfahren der Scheitelwert der Spannung bestimmt werden kann.

3.) Wechselstrom-Verlustmessung.

Als Kernproblem der experimentellen Korona-Forschung kann die Messung der Korona-Leistung angesehen werden. Das einfachste Meßverfahren ist die Leistungsmessung in der gesättigten Phase des Prüftransformators. Diese Messung schließt jedoch die Strahlungs- und Ableitungsverluste der gesamten Hochspannungs-Anlage ein. Deshalb muß jede Meßreihe mit abgetrennter Freileitung wiederholt werden, um die Verluste der Anlage von den gemessenen Gesamtverlusten abziehen zu können.

Einfacher ist die Messung mittels Wattmeter in der Hochspannungsleitung. Das Wattmeter muß jedoch für den kapazitiven Blindstrom der Leitung bemessen sein, der ein Vielfaches von dem Koronastrom ausmacht. Kleine Korona-Ströme können deshalb nicht mehr genügend genau gemessen werden.

Beide Nachteile vermeidet der von der TRO entwickelte Kompensations-Meßwandler, der nur den Wirkstrom an das Wattmeter überträgt. Der Kern des Wandlers trägt zwei gegeneinander geschaltete Primär-Wicklungen, von denen die eine in die Hochspannungsleitung eingeschaltet wird. An der zweiten Primär-Wicklung liegt ein Kompensations-Kondensator. Die Windungszahlen sind vom Bedienungsgang aus umschaltbar und werden so gewählt, daß die magnetischen Kraftflüsse der beiden kapazitiven Ströme sich aufheben. In der Sekundärwicklung liegt das Wattmeter. Die Spannungsspule des Wattmeters liegt an der Hochspannungsleitung und über einen Vorwiderstand an Erde.

- 4 -

SECRET

- 4 -

Der Vorwiderstand wird aus gekordelten Chrom-Nickeldraht gewickelt und für 500 kV bemessen. Hochohmige Widerstände haben einen großen Winkelfehler. Der Vorwiderstand wird deshalb so ausgelegt, daß er bei 500 kV 30 mA aufnimmt. Parallel zum Spannungspfad des Wattmeters muß ein Nebenwiderstand liegen, der den überschüssigen Strom ableitet. Diese Schaltung hat den weiteren Vorteil, daß das Wattmeter abgeglichen werden kann.

Um zu verhindern, daß das Wattmeter die Strahlungsverluste der Zuleitung bis zur Freileitung mitmißt, sind Wattmeter, Fandler und Umschalter in einem Faraday'schen Käfig untergebracht. Die Leitungsabschirmung wird bis an die Isolatoren der Freileitung fortgeführt. Als eigentliche Hochspannungsleitung dient ein Asto-Bündelkabel, das für 30 kV isoliert ist und in Aluminiumrohrschuttschirmung verlegt wird.

Bei kleinen Korona-Verlusten unterhalb von 1 % der Scheinleistung wird die Wattmetermessung ungenau. Zur Ermittlung der Korona-Anfangsspannung ist jedoch die Messung kleinerer Verluste erforderlich.

Deshalb wird vorgeschlagen, eine Schering-Brücke fahrbar aufzustellen, die in alle Phasen eingeschaltet werden kann. Die zu messende, mit Verlusten behaftete Leitungs-Kapazität liegt zwischen der Hochspannungsleitung und der Erde. Darum muß auch der Normal-Kondensator auf der Erdseite stehen. Dadurch ist die Lage des Meß-Widerstandes und Meß-Kondensators in den beiden anderen Brückenäzweigen bestimmt. Beide haben Hochspannungs-Potential und müssen in einem Faraday'schen Käfig untergebracht werden, in dem auch der Meßtechniker sitzt.

- 5 -

III. Erweiterung der Meßanlage auf Gleichstrom.

Die teuersten Geräte einer Korona-Meßanlage sind die Hochspannungs- und Regel-Transformatoren. Es ist deshalb wirtschaftlich zweckmäßig, die Transformatoren der Drehstromanlage gleichzeitig für eine Gleichstrom-Korona-Meßanlage zu benutzen.

Die Gleichrichtung der Wechselspannung mit Hochvakuum-Glühkathoden-Röhren bereitet Schwierigkeiten. Leistung und Sperrspannung stellen hohe Anforderungen an die Ventile. Eine Stufenschaltung wäre unvermeidlich. Dabei stehen die Kathoden der einzelnen Stufen auf verschiedenen Potentialen, sodaß die Ventilheizung mittels Hochfrequenz über Kondensatoren oder durch Generatoren mit langen Isolierwellen erfolgen müßte.

Wesentlich vereinfacht wird die Erzeugung der Gleichspannung mit dem von der TRG entwickelten mechanischen Kugelfunkentrecken-Gleichrichter.

1.) Der mechanische Gleichrichter.

Der Gleichrichter hat zwei Ventilstrecken, die elektrisch um 180 Grad gegeneinander versetzt sind. Die Sperrspannung ist auf eine Reihenschaltung von zylinderförmigen Segmenten mit Luft-Isolation aufgeteilt. Während der Kommutierungszeit laufen an Hartpapierarmen befindliche Kugeln zwischen den Elektroden hindurch und überbrücken die Luft-Isolation. Die Hartpapierarme mit den Kugeln sitzen auf einer Isolierwelle, die von einem Synchronmotor angetrieben wird. Der Zündzeitpunkt muß verstellt werden können. Dies kann durch einen Drehregler vor dem Antriebsmotor geschehen. Der Drehregler muß für die volle Leistung des Synchron-Motors bemessen sein. Der Zündzeitpunkt läßt sich auch auf mechanischem Wege verstellen, wenn der Ständer des Synchron-Motors drehbar gelagert wird. Für die Verstellung kann ein kleiner Motor mit Schneckenantrieb angebaut werden.

Die Kontrolle der Kommutierung des Gleichrichters erfolgt mittels Kathodenstrahl-Oszillographen in der Warte.

- 5 -

- 6 -

2.) Schaltung der Gleichstromanlage.

Für die Erzeugung der positiven und negativen Gleichspannung von ± 400 kV sind zwei getrennte Anlagen vorgesehen, für die zwei Prüf-Transformatoren mitbenutzt werden.

In dem Bericht des Verfassers "Erzeugung der Gleichspannung für eine Korona-Meßanlage" vom 20.11.1949 für das MfK wurde als günstigste Schaltung die Greinacher Schaltung ermittelt. Da über die Transformatoren nur unzureichende technische Unterlagen vorliegen, wurde erst nachträglich festgestellt, daß die Prüftransformatoren für die Greinacher Schaltung ungeeignet sind. An den Transformatoren sind beide Ausführungen der Hochspannungswicklung für 250 kV eff. gegen den Kessel isoliert. Zwischen Ober- und Unter Spannungswicklung liegt jedoch keine Hochspannungs-Isolation.

Auch für die einphasige Brückenschaltung ist der Transformator nicht brauchbar. Es muß daher die bereits im Vorbericht vorgeschlagene Villard-Schaltung verwendet werden.

3.) Gleichspannungsmessung.

Die Spannungsmessung bei Gleichspannung ist einfacher als bei Wechselstrom, weil ein hochohmiger Vorwiderstand bei Gleichspannung keinen Fehlwinkel hat und ein Drehspul-Meßgerät mit etwa 3 mA Stromaufnahme verwendet werden kann. Der Vorwiderstand läßt sich aus Kohleschichtwiderständen in Öl aufbauen. Bei 3 mA Stromaufnahme und 400 kV Gleichspannung würde die Verlustleistung 1200 Watt betragen. Bei dieser Leistung läßt sich eine künstliche Kühlung vermeiden.

4.) Gleichstrom-Verlustmessung.

Die Leistungsmessung bei Gleichstrom kann durch Strom- und Spannungsmessung erfolgen. Der unter 3.) beschriebene Spannungsmesser kann mit der Kugelfunkentrecke geeicht werden. Für die Strommessung eignet sich ein Drehspul-Milliampereometer mit zwei Meßbereichen von 30 und 60 mA. Das Milliampereometer in Lage der Hochspannungsleitung muß, wie die Meßgeräte bei der Drehstromanlage, in einen Faraday'schen Käfig untergebracht werden. Dieser Käfig muß auch den Kopf des Vorwiderstandes abschirmen. Ein Anrühren des Vorwiderstandes würde die Spannungsmessung verfälschen.

- 7 -

- 7 -

IV. Hilfsbetriebe.

1.) Kühlanlage.

Die Hartpapierbehälter der Drosseln und Hochohm-Widerstände verhindern die Wärmeabgabe des Kühl- und Isolier-Öles an die Luft. Eine künstliche Ölkühlung ist deshalb nicht zu umgehen.

Die Zeichnung Nr. 241 001 zeigt das Übersichts Schaltbild der Kühlanlage. Die Kreisel-Pumpe (Position 2) fördert mit einem Schlauchrad und ist besonders für zähe Flüssigkeiten geeignet. Der Öl-Luftkühler (Position 1) kann einen höheren Öl-Druck aushalten als die Hartpapierbehälter der Drosseln und Widerstände. Deshalb ist der Kühler an die Druckseite der Pumpe angeschlossen.

Die Drosseln und Widerstände liegen parallel zwischen den Sammelleitungen. In den Rücklaufleitungen befindet sich zwischen dem Ventil des Gerätes und dem Ventil vor der Sammel-Rücklaufleitung eine angeflanschte Thermometer-Tasche mit einem geschützten Thermometer. Bei unterschiedlichen Temperaturen der einzelnen Geräte muß das Ventil an der Vorlaufleitung des Gerätes mit der niedrigsten Temperatur gedrosselt werden. Wenn man das Rücklauf-Ventil drosselt, wird der Druck im Hartpapier-Zylinder erhöht, was zu vermeiden ist.

Für die Öl-Füllung und Entleerung der Anlage ist eine umschaltbare Handpumpe vorgesehen. Bei der Füllung der Anlage wird das Öl aus dem Transport-Faß in das Ausdehnungsgefäß gepumpt. Bei der Entleerung saugt die Handpumpe das Öl aus der Rücklauf-Sammelleitung. Will man nur ein einzelnes Gerät entleeren, so müssen die Ventile vor den übrigen Geräten geschlossen werden.

Soll die Kühlanlage bei sehr tiefer Raumtemperatur und zähem Öl angefahren werden, so öffnet man den Schieber (Position 27). Das Öl läuft dann nur durch die Sammelleitungen und der Gegendruck wird klein.

Die Abluft des Kühlers kann im Winter zur Raumheizung herangezogen werden.

- 8 -

Die beiden Motoren des Kühlers und der Umlaufpumpe können von der Warte aus und auch im Kühlraum geschaltet werden. Den Schaltplan gibt die Zeichnung Nr. 75278 wieder.

Die Ein- und Abschaltung der Motoren erfolgt durch 2 Luftschütze Lfb 10. Die Tastschalter für die Schützetätigkeit sind doppelt. Ein Satz befindet sich auf der Schalttafel im Kühlraum, der zweite Satz wird auf dem Schalterpult in der Warte montiert. Die Schalterstellung zeigen Lampen in der Warte und auf der Schalttafel an.

In die Rücklauf-Sammelleitung ist ein Strömungsanzeiger eingeschaltet, der bei strömendem Öl in der Warte und auf der Schalttafel je eine Signallampe leuchten läßt.

Wegen der leichten Bauweise und weil die Hochspannungs-Leitungen durch offene Tore ins Freie führen, ist eine Beheizung der Hochspannungs-Halle nicht möglich. Der abgeschlossene kleine Kühlraum dagegen kann leicht elektrisch beheizt werden. Die sehr langen Ölleitungen in der Halle sind im Winter der kalten Luft ausgesetzt. Um ein zu weites Absinken der Öl-Temperaturen und damit der Viskosität zu verhindern, sollen die Sammelleitungen mit Glaswolle isoliert werden.

2.) Warte.

In der Hochspannungshalle sind alle Geräte so dicht als möglich zusammengestellt. Bei eingeschalteter Hochspannung darf die Halle deshalb nicht betreten werden. Alle Steuer-, Schalt- und Meßeinrichtungen, die nicht unter Hochspannung stehen, werden im Schalterpult der Warte untergebracht. Von hier aus werden alle Transformatoren und Motoren geschaltet und überwacht; auch die Spannungsmessung mit der Kugelfunkenspecke geschieht von der Warte aus. Von der Warte aus kann man durch mehrere Fenster sowohl die Halle als auch den Anfang der Freileitungen überblicken.

Für die Gleichstromanlage und die Kühlanlage wird ein zweites Schalterpult in der Warte aufgestellt, das in seinen Abmessungen dem ersten Pult angepaßt wird.

- 9 -

- 9 -

V. Luftabstöße Spannungsführender Teile.

Die Abstände werden nach der Schlagweite der einseitig geerdeten Spitzenfunkenstrecke berechnet. Als Überschlagespannung wird die Prüfspannung eingesetzt, die 20% über der Nennspannung liegen soll.

Um einen Überschlag bei der Prüfspannung zu vermeiden, wird noch ein Sicherheitszuschlag von 10 % gemacht. Die Überschlagespannung der geerdeten Spitzenfunkenstrecke ist:

$$U_{\text{eff}} = 14 + 3,16 \alpha \text{ (kV)}$$

(Schlagweite α in cm)

1) Teile mit Phasenspannung 500 kV gegen Erde.

$$U' = 1,3 \cdot U_{\text{ph}} = 650 \text{ kV.}$$

$$\alpha = \frac{650 - 14}{3,16} = 200 \text{ cm}$$

2) Verkettete Spannung zwischen den Phasen.

$$U' = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ph}} \cdot 1,3 = 1125 \text{ kV}$$

$$\alpha = \frac{1125 - 14}{3,16}$$

$$\alpha = 350 \text{ cm}$$

3) Prüftrafogehäuse gegen Erde.

$$U' = 250 \cdot 1,3 = 325 \text{ kV}$$

$$\alpha = \frac{325 - 14}{3,16} = 98,5$$

$$\alpha = 100 \text{ cm}$$

4) Prüftrafogehäuse gegen Gehäuse.

$$U' = 250 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,3 = 563 \text{ kV}$$

$$\alpha = \frac{563 - 14}{3,16} = 174$$

$$\alpha = 175 \text{ cm}$$

- 10 -

- 10 -

VI. Räumlicher Aufbau der Anlage.

Die Meßgeräte und außerdem die Kondensatoren, Widerstände und Drosseln mit Rücksicht auf die Hartpapier-Zylinder müssen in einen geschlossenen Raum untergebracht werden. Die Transformatoren dagegen sind für Freiluftaufstellung gebaut. Daraus ergeben sich zwei Aufstellungsmöglichkeiten der Gesamtanlage. Es können alle Teile der Anlage in einer gemeinsamen Halle untergebracht werden. Um am Bau zu sparen, kann man auch die Transformatoren im Freien und die übrigen Geräte in einer verkleinerten Halle aufstellen. Beide Aufstellungsformen werden projektiert.

1.) Gesamtanlage in einer Halle.

Die Zeichnung Nr. Lbe 7519 zeigt Grundriß und Aufriß der Halle mit allen Geräten.

Die untere Durchführung der Prüf-Transformatoren wird gear-
det, so daß diese nahe an der Hallenrückwand stehen können.

Neben den Prüf-Transformatoren verbleiben freie Räume, die für die Aufstellung der Regel-Transformatoren auf der einen und der Kühlanlage auf der anderen Seite benutzt werden.

Der magnetische Rückschluß der Drosseln geht durch die Luft, wodurch ein starkes magnetisches Feld in der Umgebung erzeugt wird. Die Drosseln müssen deshalb mehrere Meter entfernt von den Hochohm-Widerständen stehen.

Der erforderliche Abstand wird dadurch geschaffen, daß die Meßfunkenstrecke zwischen Drossel und Hochohm-Widerstand aufgestellt wird.

Die Rohrleitungen der Kühlanlage werden durch den großen Abstand zwischen Drossel und Widerstand sehr lang. Um Rohrleitungen zu sparen, müßten alle Leitungen in ausgemauerten und abgedeckten Kanälen liegen. Ein Hauptkanal müßte durch die Hallenmitte und von diesem aus Stich-Kanäle zu den Drosseln und Widerständen führen. Die Kanäle würden zeitraubend beim Bau und kostspielig sein. Es ist daher einfacher, die Sammelleitungen zweimal durch die Halle zu führen. Kanäle sind in diesem Falle nicht notwendig.

- 11 -

SECRET

- 11 -

Die Leitungen können über dem Fußboden auf Holzschwellen gelagert werden.

Die Meßfunkenstrecke kann in alle Drehstrom-Phasen und nach Abnahme der Verbindung zwischen dem Hänge-Isolator über der Drösel und dem Faraday-Käfig auch an den oberen Teil des Gleichrichters und damit an die Gleichspannung angeschlossen werden.

Über dem Faraday-Käfig befindet sich ein Bedienungsgegang, der über eine Treppe von außen her zu erreichen ist. Am Geländer des Ganges sind die Schaltstangen befestigt, mit denen die Umschalter im Faraday-Käfig betätigt werden. Daneben sind ein Scheinwerfer und ein vermittels Fotostativ-Kopf schwenkbares Periscop für die Ablesung der Meßgeräte im Faraday-Käfig angebracht.

Vom Faraday-Käfig an muß die Hochspannungsleitung abgeschirmt bis zur Freileitung führen. Als Leitung dient das Antozündkabel, das eine Spannungsfestigkeit von 30 kV hat. Das Kabel wird abgeschirmt durch Aluminium-Rohre von 50 mm Außendurchmesser. Innerhalb der Halle läßt sich das Aluminiumrohr an den Stütz- und Hängeisolatoren bzw. an den Geräten befestigen. Vom letzten Stützer bis zum Freileitungs-Isolator muß ein Stahlseil von 5 cm Durchmesser als Trageil gespannt werden, auf das die Aluminiumrohre aufgefädelt werden. Die Aluminium-Rohre müssen elektrisch fest miteinander verbunden sein. Auf der Freileitungs-Seite ist das Aluminium-Rohr mit dem Abspannisolator zu verbinden. Das andere Ende soll mit dem Faraday-Käfig verbunden werden. Der Faraday-Käfig selbst darf nur auf der Seite zwischen Kompensationswandler und Prüf-Transformator direkt mit der Hochspannungsleitung verbunden werden, damit die Strahlungsverluste des Aluminium-Rohres und des Käfigs nicht in die Verlustmessung einbezogen werden.

Die Kühlanlage wird in dem allseitig abgeschlossenen Raum neben dem Prüf-Transformator aufgestellt. Der Gitterkühler steht mit dem Saugstutzen direkt an der Hallenwand. Die Abluft wird über in den Kühlraum geblasen. Im Winter kann die Abluft des Kühlers zur Heizung der Halle verwendet werden, indem man die Verbindungstür zwischen Kühlraum und Halle öffnet und die Fenster im Kühlraum schließt.

- 12 -

SECRET

Das Öl-Ausdehnungsgefäß muß in der Halle an der Wand des Kühlraumes angebracht werden, da im Kühlraum selbst die Deckenhöhe nicht ausreichend ist. Die Handpumpe, mit der das Öl in das Ausdehnungsgefäß gedrückt oder aus der Sammelleitung herausgesaugt wird, kann im Kühlraum Aufstellung finden.

2.) Transformatoren in Freiluftaufstellung:

Auf der Zeichnung Lbs 7520 stehen die Regel- und Prüftransformatoren vor der Halle. Die Hochspannungsleitung führt vom Prüftransformator durch ein Tor in die Halle zum Schutzwiderstand und zur Drossel. Sechs Meter von der Drossel entfernt steht der Hochwiderstand und dazwischen die Meßfunkenstrecke, um den zwischen Drossel und Hochwiderstand wegen des magnetischen Feldes erforderlichen Abstand auszunutzen. Vom Faraday-Käfig führt die Leitung als Schleife zurück durch das Tor zur Freileitung. Die Spannungsdifferenz zwischen den beiden parallelen Leitungen beträgt nur wenige 100 Volt. Damit sich die Isolatoren nicht berühren, ist auf der Zeichnung ein Abstand der Leitungsmitten von 300 mm angegeben.

Es wird empfohlen, den Abstand durch Hartpapierleisten zu sichern, damit bei Schwingungen die Porzellan-Isolatoren nicht aneinander schlagen. Im übrigen ist eine Berührung der beiden Leitungen ungefährlich, weil sich nur die Aluminiumrohre berühren können, die ohnehin gleiches Potential haben. Die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Hochspannungsleitungen wird von dem Zündkabel getragen.

Für eine reine Drehstromanlage kann die Freiluftaufstellung der Transformatoren empfohlen werden. Durch die Mitbenutzung der Transformatoren für die Gleichstromanlage ergibt sich eine ungünstige Leitungsführung. Bei der Umschaltung von Wechselstrom auf Gleichstrom sind folgende Leitungseänderungen notwendig:

- 1) Verbindung vom Schutzwiderstand zur Drossel abnehmen,
- 2) Verbindung vom Hänge-Isolator in der Hallenmitte zum Faraday-Käfig am Faraday-Käfig abnehmen und auf den Hänge-Isolator

- 13 -

zwischen den benachbarten Faraday-Käfigen umlegen.

- 3) Leitung vom Hänge-Isolator zwischen den Faraday-Käfigen zum Dämpfungswiderstand anbringen,
- 4) Rückleitung vom Faraday-Käfig zum Isolator in der Hallenmitte und zum Hänge-Isolator vor dem Tor bis zum Mastfuß abnehmen.
- 5) Freileitungs-Anschluß erden.

Das Abnehmen der Rückleitung vom Faraday-Käfig bis zum Mastfuß ist notwendig, weil beim Betrieb der Gleichstromanlage die Drehstromleitungen geerdet sein sollen und die Hin- und Rückleitung dicht nebeneinander liegen. Das Abnehmen und Wiedereinschließen der Rückleitung ist besonders unangenehm, weil dieser Teil der Leitung abgeschirmt sein muß, also aus Zündkabel und Aluminium-Rohr besteht.

Die Leitungsführung wäre einfacher, wenn die Leitung nur in einer Richtung verlaufen würde. In diesem Falle müßten in der Hallenrückwand ebenfalls große Tore angebracht werden. Die Tore nehmen fast die ganze Hallenwand ein, sodaß die Halle während der Betriebszeit praktisch an beiden Seiten offen ist. Dabei sind die Geräte den Wettereinflüssen zu sehr ausgesetzt.

Die Abmessungen der Halle bei Freiluftaufstellung der Transformatoren betragen $25 \times 14 = 350$ qm. Bei der reinen Innenraum-Anlage hat die Halle die Seitenlängen 22×16 m oder 350 qm. Eine Raumeinsparung bringt die Freiluft-Aufstellung der Transformatoren also nicht. Die umständliche Umschaltung von Drehstrom auf Gleichstrom kann wegen der langen Umschaltzeit die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse der Gleich- und Wechselstrommessungen in Frage stellen. Von der Freiluft-Aufstellung der Transformatoren ist deshalb abzuraten.

- 14 -

- 14 -

VII. Berechnung der Drehstrom-Anlage.

1.) Leistungsarten.

Die Versuchsleitung soll der betriebsmäßigen Übertragungsleitung entsprechen. Als Mastbild wird die in Rußland übliche Anordnung von drei Leitern in einer Ebene gewählt. Die Länge des Spanndrahtes soll die für hohe Spannungen ermittelte wirtschaftliche Spannweite von 400 m sein. Für 500 kV - Leitungen ist ein Phasenabstand von 7,5 m notwendig. Entsprechend der gewählten Leitungslänge rechnet man mit einer Leitungshöhe am Mast von 22 m und einem Durchhang von 13,5 m.

Für die Versuchsleitung ziehen wir nur einfache Drehstromleitungen aus Hohlseil und Bündel-Leiter in Betracht. Für die Vorabrechnung werden 3 Leitungs-Systeme zugrunde gelegt:

- A) Hohlseil 55 mm Außendurchmesser.
- B) Bündelleiter aus 2 Stahl-Aluminium-Seilen,
VDE-Nr. 240, Seil-Durchmesser 29,1 mm,
Abstand der Seilmitten 400 mm.
- C) Bündelleiter aus 4 Stahl-Aluminium-Seilen,
VDE-Nr. 124,
Seil-Durchmesser 20,6 mm
Seile im Rechteck mit 400 mm Seitenlänge angeordnet.

2.) Kapazität und Ladestrom.

Nach der von C. Mayr angegebenen Formel berechnet sich der Ersatzradius des Bündelleiters, das ist der Radius eines Zylinders, der die gleiche Kapazität wie der Bündelleiter hat, wie folgt:

$$r_e = R \sqrt{\frac{n}{n-1}}$$

	Leitung B	Leitung C
Radius des Bündels: R	20 cm	28,275 cm
Radius des Teilleiters: r	1,455 cm	1,03 cm
Anzahl der Teilleiter: n	2	4

- 15 -

- 15 -

Ersatzradius für Bündelleiter B:

$$r_B = 20 \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 1,455}{20}}$$

$$= 7,63 \text{ cm}$$

Ersatzradius für Bündelleiter C:

$$r_C = 28,275 \sqrt[4]{\frac{1,03}{28,275}}$$

$$= 28,275 \cdot 0,6176$$

$$= 17,48 \text{ cm}$$

Mittlerer Leiterabstand:

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} = \sqrt[3]{7,5 \cdot 7,5 \cdot 15}$$

$$= 9,45 \text{ m}$$

$$= 945 \text{ cm}$$

Mittlere Leiterhöhe:

$$h = H - 0,7 f$$

Leiterhöhe am Mast $H = 22 \text{ m}$

Durchhang $f = 13,5 \text{ m}$

$$h = 22 - 0,7 \cdot 13,5$$

$$= 12,55 \text{ m}$$

$$= 1255 \text{ cm}$$

Potentialkoeffizient Leiter gegen Erde:

$$a_{11} = 2 \cdot \ln \frac{2 \cdot h}{r} \cdot 9 \cdot 10^6$$

Leitung A:

$$a_{11} = 2 \cdot \ln \frac{2 \cdot 1255}{2,5} \cdot 9 \cdot 10^6$$

$$= 124,3 \cdot 10$$

Leitung B:

$$a_{11} = 2 \cdot \ln \frac{2 \cdot 1255}{7,63} \cdot 9 \cdot 10^6$$

$$= 104,5 \cdot 10^6$$

Leitung C:

$$a_{11} = 2 \cdot \ln \frac{2 \cdot 1255}{17,48} \cdot 9 \cdot 10^6$$

$$= 89,5 \cdot 10^6$$

- 16 -

Potentialkoeffizient Leiter gegen Leiter:

$$a_{12} = \ln \left[\left(\frac{2}{d} \cdot h \right)^2 + 1 \right] \cdot 9 \cdot 10^6$$

$$a_{12} = \ln \left[\left(\frac{2}{945} \cdot 1255 \right)^2 + 1 \right] \cdot 9 \cdot 10^6$$

$$= 18,72 \cdot 10^6$$

Betriebskapazität der Drehstromleitung:

$$C_b = \frac{1}{a_{11} - a_{12}}$$

Leitung A:

$$C_b = \frac{1}{724,3 \cdot 10^6 - 18,72 \cdot 10^6} = 9,465 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$$

Leitung B:

$$C_b = \frac{1}{(104,5 - 18,72) \cdot 10^6} = 11,67 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$$

Leitung C:

$$C_b = \frac{1}{(89,5 - 18,72) \cdot 10^6} = 14,12 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$$

Ladestrom:

$$I_o = U_{ph} \cdot \omega \cdot C_b = 500 \text{ kV} \cdot \omega \cdot C_b$$

für Leitung A:

$$I_o = 1,49 \text{ A/km}$$

für Leitung B:

$$I_o = 1,83 \text{ A/km}$$

für Leitung C:

$$I_o = 2,22 \text{ A/km}$$

Für das Versuchsaufstellfeld von 400 m Länge sind die Ladeströme bei 500 kV Phasenspannung:

Leitung A:	$I_o = 0,6 \text{ A}$
Leitung B:	$I_o = 0,73 \text{ A}$
Leitung C:	$I_o = 0,89 \text{ A}$

- 17 -

3.) Kondensator für Ladestrom-Kompensation.

Bei gleichen Windungszahlen von Primärwicklung und Kompensationswicklung müßte der Kondensator so groß sein wie die Betriebskapazität der Versuchsleitung, also

$$C_k = 0,4 \cdot 14,12 \cdot 10^{-9} \text{ F} \\ = 5650 \text{ pF}$$

Um den Kondensator und damit die kapazitive Blindlast klein zu halten, wird ein Verhältnis der Windungszahlen von 1 : 10 gewählt und der Kondensator für 500 kV und $C_k = 600 \text{ pF}$ ausgelegt.

Bei 500 kV liefert der Kondensator einen Strom von:

$$I_0 = 500 \text{ 000} \cdot 314 \cdot 600 \cdot 10^{-12} \\ I_0 = 0,0942 \text{ A}$$

Der Verlustfaktor dürfte in der Größenordnung von $\text{tg } \delta = 0,005$ liegen, sodaß der Kondensator ein Wirkstrom von

$$I_w = I_0 \cdot \text{tg } \delta = 0,0942 \cdot 0,005 \\ = 0,4710 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

aufnimmt.

4.) Kompensations-Stromwandler.

a) Übersetzungsverhältnis von Primärwicklung zu Sekundärwicklung.

Es erscheint wichtiger, kleine Korona-Verluste genau zu messen, als den Meßbereich nach oben hin groß zu halten. Als obere Meßgrenze wird deshalb eine Leistung von

$$P_{\text{max}} = 175 \text{ kW/km}$$

für Drehstrom angenommen. Bei 500 kV ergibt sich daraus für eine Phase mit 400 m Leitungslänge ein Strom von

$$I_{\text{max}} = \frac{175 \cdot 0,4}{500 \cdot 3} \\ = 46,4 \text{ mA}$$

Der obere Grenzstrom soll abgerundet

$$I_{\text{max}} = 50 \text{ mA}$$

betragen entsprechend einer Leistung von

$$P_{\text{max}} = 167,5 \text{ kW/km}$$

- 18 -

für die Drehstromleitung. Das Wattmeter hat einen Nennstrom von 5 Amp. Übersetzungsverhältnis der Primärwicklung zur Sekundärwicklung:

50 mA: 5 Amp. oder 1 : 100.

Um den Meßbereich nach unten zu erweitern, wird die Sekundärwicklung zweiteilig ausgeführt. Durch Parallelschaltung der beiden Wicklungshälften erhalten wir einen weiten Meßbereich mit

15 mA: 5 Amp. oder 1 : 200.

Bei konstanter Spannung von 500 kV entsprechen zwei Stufen teile einem Strom von 0,835 mA, sodaß sich demnach eine kleinste Leistung von

$$P_{\min.} = \frac{0,835 \cdot 500}{0,4}$$

$$= 1,044 \text{ kW/Amp}$$

für die Drehstromleitung messen 120V.

b) Übersetzungsverhältnis von Primärwicklung zu Sekundärwicklung

Bei 500 kV nimmt der Kompensations-Kondensator einen Strom von

$$I_{ok} = 0,0942 \text{ Amp.}$$

auf. Der größte Ladestrom wurde zu 0,89 Amp. bei 400 n Leitungslänge berechnet. Da die Ladeströme der einzelnen Leiterarten verschieden sind, muß auch das Übersetzungsverhältnis zwischen der Kompensationswicklung und der Leitungswicklung verschieden sein. Gewählt wurden die Grenzen 1 : 40 und 1 : 5. So können also Ladeströme in der Größe von 0,202 Amp. bis 0,94 Amp. kompensiert werden. Die Anzahl der Anzapfungen zur Änderung des Übersetzungsverhältnisses muß so groß sein, daß der bei Wahl der günstigsten Anzapfung im Wattmeter verbleibende Blindstrom klein gegen den Wirkstrom ist.

Die Kompensationswicklung wurde in 7 groben Stufen angezapft. Weiterhin ist eine Drehstufe in 9 Feinstufen unterteilt. Insgesamt stehen also 63 verschiedene Übersetzungen zur Verfügung.

- 19 -

- 19 -

Die Wahl des Übersetzungsverhältnisses erfolgt mit Hilfe des Strommessers, der mit dem Leistungsmesser in Reihe liegt. Zweck der Einstellung der Kompensation führt man die Spannung so weit hoch, daß der Strommesser ausschlägt. Dann werden die Umschalter in Faraday-Ährig so betätigt, daß der Strommesser keinen Ausschlag mehr zeigt. Darauf erhöht man die Spannung, muß aber unterhalb der Korona-Einsatzspannung bleiben, was am Wattmeter zu erkennen ist. Die Umschalter werden auf kleinsten Strom gestellt. Das eingestellte Übersetzungsverhältnis läßt sich an Skalenblech ablesen und danach der Kondensator-Verluststrom in der Leitungswicklung berechnen. Dieser Strom ist zum gemessenen Koronastrom zu addieren.

Bei richtiger Einstellung der Kompensation ist der mögliche Rest-Blindstrom gleich dem halben Strom, der sich aus der Differenz der aufeinanderfolgenden Stufen ergibt.

Bei Umschaltung der aufeinanderfolgenden Stufen erhalten wir in der Leitungswicklung folgende Kompensations-Ströme:

<u>Übersetzungsverhältnis:</u>	<u>Strom:</u>
1 : 10	0,942 A
1 : 9,875	0,93 A
1 : 9,75	0,919

Halber Differenzstrom zwischen den Stufen:
 $I_d = 6 \text{ mA.}$

Dieser Blindstrom wird zusammen mit dem Wirkstrom in die Sekundärwicklung übersetzt. Bei einem Korona-Strom von 6 mA erhalten wir für die Sekundärwicklung einen Ges. von 0,7. Bei 1 mA Wirkstrom ist:

$$\tan \varphi = \frac{I_d}{I_w}$$

$$\varphi = 50^\circ 32'$$

$$\cos \varphi = 0,164$$

Der Blindstrom wirkt ungünstig auf den Wandler-Fehler und begrenzt den Meßbereich nach unten, sodaß eine möglichst feinstufige Kompensation angestrebt werden muß. Bei dem vorliegenden Wandler ist jedoch eine weitere Erhöhung der Feinstufigkeit nicht mehr

DRAFT

- 20 -

möglich. Wird größere Meßgenauigkeit bei kleinen Strom verlangt, so kann die Kompensation durch Vorschalten von Kondensatoren vor den Kompensations-Kondensator verfeinert werden.

Der Differenzstrom zweier aufeinanderfolgender Übersetzungsstufen beträgt, auf die Leitungswicklung bezogen, 1,2 mA. Soll die Feinstufigkeit verdreifacht werden, so muß durch Vorschalten von Kondensatoren vor den 600 pF-Kondensator der Kompensationsstrom um 0,4 und 0,8 mA verringert werden. Dazu sind folgende Kapazitäten notwendig.

$$\begin{array}{ll} I_K' = 0,0942 \text{ A} & C = 600 \text{ pF} \\ I_K'' = 0,0938 \text{ A} & C' = 597 \text{ pF} \\ I_K''' = 0,0934 \text{ A} & C'' = 594 \text{ pF} \end{array}$$

Vor den Kompensations-Kondensator von 600 pF sind zu schalten:

$$\begin{array}{ll} C_X' = 0,14 \text{ pF} \\ C_X'' = 0,0667 \text{ pF} = 0,07 \text{ pF} \end{array}$$

An den in Reihe geschalteten Kondensatoren liegen folgende Spannungen:

$$\frac{U_X''}{U_K} = \frac{C_K}{C_X''} = \frac{600}{70.000} = \frac{1}{116,7}$$

$$U_X'' = \frac{500}{116,7} = 4,280 \text{ V}$$

$$U_K = \frac{500 \cdot 116,7}{116,7} = 495.750 \text{ V.}$$

Erforderlich sind also für jeden Wandler
2 Kondensatoren von 0,07 pF
für 6000 V ~ Betriebsspannung.

Wenn die Zusatzkondensatoren auf der Erdsseite angeschlossen werden, muß der 600 pF-Kondensator für 6000 V isoliert aufgestellt werden. Deshalb ist es einfacher, die Zusatzkondensatoren mit in den Faraday-Käfig auf der Hochspannungsseite unterzubringen.

- 21 -

- 21 -

5.) Wattmeter für Korona-Messung.

Wegen Beschaffungsschwierigkeiten mußte ein Wattmeter gewählt werden, das im Strompfad bei 5 A Nennstrom einen Widerstand von 0,2 Ω und im Spannungspfad bei 220 V Nennspannung einen Widerstand von 60 000 Ω aufweist. Mit Rücksicht auf die übersichtlichere Skala wird der Meßbereich für 120 V verwendet.

Strom im Spannungspfad bei 220 V:

$$I = \frac{220}{60000} = 3,67 \text{ mA}$$

Widerstand im Spannungspfad bei 120 V-Meßbereich:

$$R = \frac{120}{3,67} = 32\,700 \, \Omega$$

Da der Vorwiderstand für den Spannungspfad für 30 mA bei 500 kV bemessen ist, muß das Wattmeter einen Parallelwiderstand am Spannungspfad erhalten.

$$R_p = 32\,700 \cdot \frac{3,67}{26,35} = 4560 \, \Omega$$

Als Nebenwiderstand wird ein R30-Vorschaltwiderstand, Typ R30, mit 5500 Ω und 0,15 A in den Faraday-Käfig eingebaut. Der Widerstand ist mit Hilfe der verschiebbaren Schelle abgleichbar.

Die Auslegung des Vorwiderstandes macht es möglich, auch andere Wattmeter mit einer Stromaufnahme bis zu 30 mA zu verwenden.

Inzwischen wurden von der Firma Hartmann und Braun 3 astatische Präzisions-Leistungsmesser beschafft mit folgenden Werten:

5 A/150 V Klasse 0,2

Strompfad 1,5 VA

Spannungspfad 30 mW.

Für diese Instrumente ist der Nebenwiderstand im Faraday-Käfig nicht erforderlich.

Wegen der größeren Abmessungen kann das Wattmeter von Hartmann und Braun nicht zwischen den beiden Strommessern im Faraday-Käfig stehen. Es wurde deshalb eine weitere Tragplatte angebracht (Teil 26 in Zusammenstellungszeichnung vom Faraday-Käfig Nr. 219 894).

- 22 -

- 22 -

6.) Vorwiderstand für Wattmeter.
(Hochohm-Widerstand)

Für die Leistungsmessung der Korona-Verluste sind Wattmeter der Firma vorm. Siemens & Halske, Chemnitz, vorgesehen. Die Geräte haben im Spannungsepfad eine Stromaufnahme von 3,67 mA. Bei 500 kV wäre ein Vorwiderstand von 136,2 MΩ erforderlich. Ein so hochohmiger Widerstand ist schwer herstellbar. Auch bei Verwendung von gekordelten Widerstandsdrähten würden die Windungszahlen und damit die Abmessungen sehr groß werden, was große Induktivitäten und Kapazitäten zur Folge hätte. Außerdem soll die Möglichkeit offen bleiben, Präzisionsleistungsmesser mit höherem Stromverbrauch zu verwenden. Deshalb wird der Vorwiderstand für einen Strom von 30 mA bei 500 kV ausgelegt. Der Widerstandswert soll also 16,7 MΩ betragen. Bei Nennspannung ergibt sich die Verlustleistung des Widerstandes zu 15 kW.

Für den Aufbau wurde Widerstands-Kordel aus Chromnickeldraht von 0,03 mm Durchmesser gewählt. Der Draht ist auf eine Schnur von 2 mm Durchmesser aufgewickelt. Die Windungen haben einen Abstand von 0,2 mm. Die Kordel ist mit einem Schutzlack überzogen, sodaß sich ein äußerer Durchmesser von 2,5 mm ergibt. Der Widerstand der Kordel wurde unter Trafo-Öl gemessen:

30°C 49 500 Ω/m
100°C 50 000 Ω/m.

Die Widerstandsänderung beträgt 1,01 %. Für 16,7 MΩ muß die Kordel 334 m lang sein.

Zwecks besserer Wärmeabführung wird die Kordel nicht auf einen Hartpapier-Zylinder, sondern auf Holzkreuze mit eingefrästen Nuten gewickelt. Das Kühl-Öl kann die Kordel allseitig umspülen. Der Widerstand steht in einem ölgefüllten Hartpapier-Zylinder. Das Ölgewicht beträgt 270 kg.

6.a) Öl-Erwärmung des Vorwiderstandes bei Nennspannung.

Die Wärmeabgabe durch den Hartpapier-Zylinder ist gering. Die Verlustwärme muß vom Isoliert-Öl aufgenommen werden. So wird eine Öl-Erwärmung von 20° auf 90° zugelassen.

- 23 -

- 23 -

Wärme-Leistung: $N = 15 \text{ kW.}$
 Wärme-Menge: $Q = 12900 \text{ kcal/h}$
 Wärmemenge zur Erzeugung der zugelassenen Übertemperaturen:
 $A = c \cdot G \cdot \Delta t = 0,4 \cdot 210 \cdot 70$
 $= 5880 \text{ kcal}$
 $= 6,84 \text{ kWh}$
 Erwärmungszeit:

$$t = \frac{Q}{N} = \frac{12900}{15} = 0,455 \text{ Stunden}$$

$$= 27 \text{ Minuten.}$$

Trotzdem die Transformatoren nicht für Dauerbetrieb ausgelegt sind, ist eine Betriebszeit von 27. Minuten zu kurz. Es ist daher notwendig, die Widerstände mit einer Öl-Immerskühlung zu versehen.

6.b) Phasenverschiebung am Vorwiderstand.

Die Induktivitäten und Kapazitäten am Hochohm-Widerstand verursachen eine Verschiebung des Stromes gegenüber der angelegten Spannung. Bei großer Phasenverschiebung wird dadurch im Leistungsmesser die Spannung falsch gemessen. Die Phasenverschiebung soll nachgerechnet werden.

Induktive Phasenverschiebung.

Es ist zwischen der Induktivität der Kordelwindungen und der Induktivität der Kordel selbst zu unterscheiden.

Kordel-Induktivität.

Länge der Kordel $l = 335 \text{ m}$
 Abstand der Drahtwindg. $a = 0,2 \text{ mm}$
 Windungszahl pro cm $w = 30$
 Durchmesser einer Drahtwindung $d = 2 \text{ mm}$

Induktivität für 1 cm Kordel:

$$L = \mu \cdot \frac{w^2 \cdot a^2}{2 \cdot 10} = 1,257 \cdot \frac{25 \cdot 10^2 \cdot \pi \cdot 0,04}{2 \cdot 10}$$

$$= 0,985 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

Induktivität der gesamten Kordel:

$$L = 0,985 \cdot 10^{-8} \cdot 33500$$

$$L = 0,33 \text{ mH}$$

- 24 -

$$w_L = 0,314 \cdot 0,33 \approx 0,1 \, \Omega$$

Induktivität der Widerstands-Wicklung:

Um die Größenordnung zu ermitteln, erfolgt die Berechnung ebenfalls nach der einfachen Formel für eine lange, einlagige Spule. Die Kordel ist auf 46 Holzkreuze mit je 12 Windungen aufgewickelt:

$$\text{Windungszahl} \quad w = 46 \cdot 12 = 552$$

$$\text{mittlerer Durchmesser der Spule} \quad d = 16 \, \text{cm}$$

$$\text{Länge der Spule} \quad l = 200 \, \text{cm}$$

Induktivität

$$L = \mu \frac{w^2}{l} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 1,257 \cdot \frac{552^2}{200} \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4} \cdot 10^{-9} = 4,9 \, \text{mH}$$

$$= 4,9 \, \text{mH}$$

$$R = 1,6 \, \Omega$$

Die beiden berechneten Induktivitäten liegen in Reihe. Der gesamte induktive Widerstand beträgt größenordnungsmäßig 1,6 Ω und ist gegen den ohmschen Widerstand von 16,7 Ω zu vernachlässigen. Die Induktivitäten verursachen also keine Phasen-Abweichung.

Kapazitive Phasen-Verschiebung:

Nach dem Aufbau des Widerstandes sind folgende Teil-Kapazitäten zu unterscheiden:

Windungskapazität der Wicklung:

Jede Windung hat gegen die benachbarte eine Teilkapazität. Insgesamt sind die Kapazitäten von 552 Windungen in Reihe geschaltet, sodaß diese Teilkapazität sehr klein wird und vernachlässigt werden kann.

Spulen- oder Lagen-Kapazität:

Die auf einem Holzkreuz spiralförmig angeordneten Windungen bilden eine Spule oder geometrisch eine Kreis-Ringscheibe. Durch die Windungskapazitäten sind die einzelnen Windungen einer Lage miteinander verbunden, sodaß eine Lage als Metallscheibe angesehen werden kann. Zu berechnen ist die Kapazität zwischen 2 Lagen. Es sind 45 Lagen-Kapazitäten in Reihe geschaltet.

- 25 -

- 25 -

SECRET

Lagenkapazität gegen Erde:

Die einzelnen Lagen haben Kapazitäten gegen Erde, die umgekehrt proportional dem Erdabstand sind. Die Erd-Kapazitäten der einzelnen Lagen sind parallel geschaltet und machen die Spannungsverteilung über die Länge des Widerstandes ungleichmäßig. Diese Kapazitäten sind für die Phasenverschiebung maßgebend.

Lagenkapazität gegen Hochspannungsleitung:

Zwischen den einzelnen Lagen und dem Metallkopf des Widerstandes bzw. dem Faraday-Käfig und der Hochspannungsleitung bestehen ebenfalls Kapazitäten, die sich umgekehrt wie die Erd-Kapazitäten verhalten und die Spannungsverteilung wieder gleichmäßiger gestalten.

Diese Teil-Kapazitäten brauchen nicht berücksichtigt zu werden, weil ihre Ströme von den Lagen des Widerstandes zu der Abschirmung der Hochspannungsleitung fließen und die Messung nicht beeinflussen.

Berechnung der Lagen-Kapazität:

Da eine genaue Berechnung nicht möglich ist, wird einmal die Lage durch eine Metallscheibe ersetzt. Der zweite Weg der näherheren Berechnung ist die Abwicklung der Lage, sodaß 2 Lagen durch 2 Drähte mit dem Abstand zweier Lagen und der Länge der Kordel näher Lage ersetzt werden können. Beide Möglichkeiten werden versucht.

Lage als Scheibe:

Innen-Durchmesser der Scheibe

5 cm

Außendurchmesser der Scheibe

18 cm

Abstand der Lagen

a = 4,4 cm

$$C = 0,08842 \cdot \frac{r}{a} \cdot E \cdot 10^{-12} \quad (P)$$

$$= 0,08842 \cdot \frac{235}{4,4} \cdot 2,2 \cdot 10^{-12}$$

$$C = 10,4 \cdot 10^{-12} \quad (P)$$

Lage als gestreckter Draht:

Drahtlänge l = 230 cm

- 26 -

- 26 -

Kapazitäten zwischen 2 Drähten mit Lagenabstand

$$C_1 = \frac{0,2783 \cdot 10^{-12} \cdot \epsilon}{\ln \frac{h}{r}} \quad (F/cm)$$

$$\frac{h}{r} = \frac{4,4}{0,1} = 44$$

$$\ln \frac{h}{r} = 3,78$$

$$C_1 = 0,162 \cdot 10^{-12} \quad F/cm$$

$$= 118 \cdot 10^{-12} \quad F$$

Die berechneten Kapazitäten verhalten sich wie 1:11. Die Berechnung mit einer Scheibe als Ersatzbild muß den genaueren Wert liefern; denn die Lagen-Kapazität kann höchstens kleiner sein als die Kapazität zwischen 2 Metallscheiben gleicher Größe. Bei gestreckter Länge der Kordel wird das Gesamtfeld zwischen den Leitern sehr viel größer als bei der aufgewickelten Spirale.

Berechnung der Lagen-Kapazität gegen Erde.

Die unterste Lage hat einen Erd-Abstand von 5 cm gegen die Grundplatte. Jede folgende Lage ist um je 4,4 cm höher angeordnet. Zur Vereinfachung der Rechnung wird ein mittlerer Abstand von

$$h = 4,4 \cdot 23 + 15 = 115 \text{ cm}$$

angenommen.

Für die Kapazitäts-Berechnung wird die Scheibe durch einen Zylinder von gleichem Durchmesser und gleicher Länge ersetzt.

$$F = 235 \text{ cm}^2 \quad (\text{siehe oben})$$

$$d = \sqrt{235} = 15,3 \text{ cm}$$

Die Kapazität wird nun nach der Formel für die Anordnung Zylinder gegen Erde berechnet.

$$C_2 = \frac{2 \cdot 0,2783 \cdot \epsilon \cdot 10^{-12}}{\ln \frac{2h}{d}} \quad F/cm$$

- 27 -

Das Feld verläuft sowohl in Luft als auch in Öl. Für ϵ wird deshalb der Mittelwert von 1,6 genommen.

$$\frac{2 \cdot b}{F} = \frac{2 \cdot 115 \cdot 2}{15,3} = 30$$

$$\ln 30 = 3,4$$

$$C_1 = \frac{2 \cdot 0,2788 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}}{3,4} \quad F/cm$$

$$= 0,262 \cdot 10^{-12} \quad F/cm$$

$$C_2 = 4 \cdot 10^{-12} (F)$$

Berechnung der Gesamtkapazität:

Die Teilkapazitäten am Widerstand bilden eine Kondensator-Kette. Die Berechnung der Gesamt-Kapazität der Kette erfolgt nach A. Schöner (‐Elektrische Festigkeitslehre‐) für eine Kondensator-Kette.

$$C_{ges} = \sqrt[n]{C_1 \cdot C_2 \cdot \cos \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \right)}$$

$$C = C_1 = 10,4 \cdot 10^{-12} F$$

$$C = C_2 = 4 \cdot 10^{-12} F$$

Anzahl der Glieder $n = 46$

$$\sqrt[n]{C} = \sqrt[46]{10,4 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-12}} = 5,45 \cdot 10^{-12}$$

$$\sin \frac{\pi}{2} = \frac{1}{2} \quad \sqrt[n]{C} = \frac{1}{2} \quad \sqrt[n]{C} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5,45}$$

$$= 0,31$$

$$\frac{1}{2} = 0,31$$

$$\gamma = 0,62$$

$$\sin \gamma = 0,56$$

$$\cos \gamma = 0,498$$

$$C_{ges} = 6,45 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{1,198 \cdot 46 \cdot 2}{0,56 \cdot 46} = 11,6 \cdot 10^{-12} F$$

- 28 -

Berechnung der Phasenverschiebung am Spannungspfad des Leistungs-
messers:

Durch die kapazitive Komponente hat der Strom des Hochohm-
widerstandes eine Phasenverschiebung gegenüber der angelegten
Spannung.

Kapazitive Stromkomponente:

$$I_0 = U \cdot \omega C = 500\,000 \cdot 314 \cdot 11,6 \cdot 10^{-12} \quad (1)$$

$$= 1,82 \text{ mA}$$

Wirkkomponente:

$$I_w = 30 \text{ mA}$$

$$\cos \varphi = \frac{1,82}{30} = 0,0606$$

$$\varphi = 3^\circ 25'$$

Die Leitung habe die Spannung U_1 . Dann wird am Voltmeter die
Spannung

$$U_w = U_1 \cdot \cos \varphi \text{ erzeugt.}$$

$$U_w = U_1 \cdot 0,99818$$

Der Fehler beträgt nur 0,2 %

7.) Messfehler bei der Korona-Messung.

Die Fehlerquellen bei der Messung der Korona-Leistung sind
folgende:

- 1) Verluste des Kompensations-Kondensators,
- 2) Unvollständige Kompensation,
- 3) Winkelfehler des Wandlers,
- 4) Stromfehler des Wandlers,
- 5) Stromfehler des Vorwiderstandes,
- 6) Winkelfehler des Vorwiderstandes,

- 29 -

- 7) Stromfehler des Nebenwiderstandes,
- 8) Wattmeter-Fehler.

Nur die Fehlerbetrachtung wird die Leitung C mit einem Laststrom von 0,89 Amp. bei 500 kV zugrunde gelegt.

a) Verluste des Kompensations-Kondensators.

Der Verluststrom des Kondensators kompensiert im Wandler einen Teil des Korona-Stromes. Die Kapazitäten und Verlustfaktoren der drei Kondensatoren wurden im Prüffeld gemessen.

Nach diesen Meßwerten werden die Verlustströme bei 500 kV berechnet:

Kond. PB-Nr.	Kapazität pF	$\tan \delta$ %	I_p mA	I_v mA
652 562	790	0,84	124	1,0
" 563	780	0,9	123	1,1
" 564	790	1,3	124	1,6

Nur den Kondensator Nr. 562 ist folgende Kompensation einzuschalten:
0,124 Amp. : 0,89 Amp. = 0,1 : 0,71.

Nach der Prüfanweisung Tr 71800 /2b sind die Umschalter im Faraday-Käfig auf L_3 und K_0 einzustellen, was der Übersetzung 0,1

: 0,7125 entspricht (besser wird nicht die Prüfanweisung, sondern der Prüfungsnachweis benutzt).

Der auf die Leitungswicklung des Wandlers bezogene Verluststrom ist also:

$$I_{v1} = 1,0 \cdot 7,125 = 7,12 \text{ mA.}$$

Dieser Verluststrom muß dem gemessenen Korona-Strom hinzugezählt werden. Die Verlustleistung, um die die Korona-Leistung zu klein gemessen wird, ist

$$N_v = 7,12 \text{ mA} \cdot 500 \text{ kV} = 3560 \text{ W.}$$

Auf die 1 km lange Drehstromleitung bezogen, beträgt der Leistungsfehler

$$N_v = \frac{3,56}{0,4} = 26,7 \text{ kW/km.}$$

- 30 -

- 30 -

Beim praktischen Meßbetrieb muß für jede Meßreihe und jede Phase zunächst die Kompensation ermittelt werden. Bei der Auswertung der Meßergebnisse muß dann für jeden Meßpunkt nach der gemessenen Spannung der Kondensator-Blindstrom und daraus der Kondensator-Verluststrom errechnet werden. Den Verluststrom errechnet man entsprechend dem eingestellten Kompensations-Verhältnis auf die Leitungswicklung um. Aus dem errechneten Strom und der gemessenen Spannung läßt sich nun die Verlustleistung bestimmen, die zur gemessenen Korona-Leistung zu addieren ist.

Der durch den Verluststrom des Kondensators hervorgerufene Leistungsfehler, der trotz der berechneten Strom-Korrektur durch die Abweichung des Verluststromes vom berechneten Wert hervorgerufen wird, läßt sich nur schätzen. Bei der Verlust-Faktor-Messung, die an den Teil-Kondensatoren mit Niederspannung erfolgte, ist mit einer Ungenauigkeit von $\pm 0,002$, bezogen auf $t_g = 0,01$, zu rechnen. Die Temperatur und Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors ist mitberücksichtigt. Der Fehler beträgt 20 % und der auf die Leitungswicklung bezogene Verluststrom weicht um 1,04 mA vom Sollwert 7 mA ab. Für die Nennspannung von 500 kV wird der prozentuale Stromfehler, abhängig von der Größe des Korona-Stromes, angegeben:

Korona-Strom mA	50	40	30	20	10	5	1
Stromfehler mA			1,4				
Stromfehler %	2,8	3,5	4,7	7	14	28	140

b) Unvollständige Kompensation.

Im Abschnitt 4b wurde bereits gesagt, daß infolge der stufenweisen Änderung des Übersetzungsverhältnisses ein Rest-Blindstrom von 6 mA im Wattmeter verbleibt. Bei großem Korona-Strom spielt der Kompensationsfehler keine Rolle. Bei kleinem Strom macht sich der Fehlwinkel bemerkbar. Der Leistungsfehler, der durch den verbleibenden Blind-Strom hervorgerufen wird, soll zusammen mit dem Winkelfehler des Wandlers berechnet werden.

c) Winkelfehler des Wandlers.

Der Winkelfehler des Wandlers ist in dem Bericht von B. G.

- 31 -

vorausberechnen. Den durch den Winkelfehler hervorgerufenen Leistungsfehler kann man aus der Beziehung

$$\Delta P = 0,029 \cdot S_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (\%)$$

bestimmen.

Dabei wird gleich der Kompensations-Fehler mit erfaßt. Die Berechnung erfolgt wie oben für 500 kV. Die Kompensationsstufe ist:

$$0,1 + 1,7125,$$

so daß das Wattmeter 7 mA Korona-Strom zu wenig mißt. Als ~~Min~~-strom vorbeibehen, wie unter 4) b angegeben, 6 mA.

Korona-Strom mA	50	40	30	20	10	5	1
Reststrom mA	43	33	23	13	3	-2	-6
$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\text{Blindstrom}}{\text{Reststrom}}$	0,14	0,182	0,251	0,462	2	-3	-1
Winkelfehler Min.	20	23	32	50	100	115	80
ΔP %	0,081	0,121	0,242	0,67	5,8	10	2,32

Der größte Fehler liegt nicht bei kleinstem Korona-Strom, sondern zwischen 10 und 5 mA, genau bei 7 mA. Bei 7 mA wird der Korona-Strom durch den Kondensator-Verluststrom völlig kompensiert, sodaß $\operatorname{tg} \varphi$ unendlich wird. Schon bei 7 mA oder 14 % der Nennleistung wird die Messung also sehr ungenau, um bei kleinerer Leistung wieder genauer zu werden.

d) Stromfehler des Wandlers.

Der Stromfehler des Wandlers ist in den Bericht von U.Gad vorausberechnet. Danach beträgt der Stromfehler bei einer Bürde von 0,155 Ω mit dem 5 Amp.-Meßbereich bei dem Nennstrom von 50 mA 2,5 %. Bei dem kleinen Meßbereich von 0,015 Ω 3 Amp. liegt die Fehlerkurve viel ungünstiger und steigt für 1 mA auf 6 %. Da Korona-Ströme unter 1 mA wegen der verschiedenen Fehler nicht mehr mit genügender Genauigkeit gemessen werden können, versichert man besser auf die Benutzung des 3 Amp.-Meßbereiches.

e) Stromfehler des Vorwiderstandes.

Die Hochohm-Widerstände wurden mit einer Niederspannungsbrücke vor der Clfüllung gemessen zu

$$16,63; 16,70; 16,69 \text{ M}\Omega$$

- 32 -

- 32 -

Bei der Abnahmepflichtung wurde mit der Schering-Brücke unter Hochspannung gemessen:

16,30; 16,46; 16,45 Ω

Mit der Differenz zwischen den oberen und unteren Werten muß als Ungenauigkeit gerechnet werden. Der Mittelwert aus den Differenzen beträgt 0,29 Ω .

Strom im Vorwiderstand bei 16,7 Ω	30	mA
bei 16,41 Ω	30,5	mA
Strom in Leistungsmesser = 16,7 Ω	3,67	mA
von Siemens = 16,41 Ω	3,73	mA

Leistungsfehler für das Siemens-Wattmeter:

$$\Delta P = \frac{0,06 \cdot 100}{3,67}$$

$$= 1,67 \%$$

Für das Wattmeter von Hartmann u. Braun ist der Fehler

$$\Delta P = \frac{0,5 \cdot 100}{3,67}$$

$$= 1,37 \%$$

Dieser Fehler ist unabhängig von der Größe des Korona-Stromes.

f) Winkelfehler des Vorwiderstandes:

Um den Fehlwinkel des Vorwiderstandes weicht die Spannung am Wattmeter von der Netzspeisung ab. Bei der Projektierung wurde der Fehlwinkel zu 3 Grad 25 Min. berechnet (siehe Berechnung). Die Prüffeld-Messungen mit der Schering-Brücke unter Hochspannung ergaben Werte der gleichen Größenordnung (s. Prüfungs-Nachweis). Der durch diesen Fehlwinkel verursachte Leistungsfehler liegt unter 0,2 % und kann gegenüber den anderen Fehlern vernachlässigt werden.

g) Stromfehler des Nebenviderstandes:

Bei einem Widerstand im Spannungspfad des Wattmeters von 32 700 Ω soll der Nebenviderstand 4560 Ω betragen. Bei dem Verhältnis der beiden Widerstände von 1 : 7 macht sich eine Abweichung des kleineren Nebenviderstandes im Wattmeter stark bemerkbar. Der Nennstrom des Nebenviderstandes ist 150 mA, die Belastung bei 500 kV 27 mA. Eine Widerstandsänderung durch Temperaturänderung ist deshalb nicht zu befürchten. Der Fehler entsteht beim Abgleich des Wattmeters. Beim

- 33 -

- 33 -

Abgleich muß die Parallel-Schaltung vom Nebenwiderstand und Wattmeter mit dem Nennstrom des Vorwiderstandes durch eine 50periodige Wechselspannungsquelle gespeist werden. Bei einem Gesamtstrom, der dem Nennstrom des Vorwiderstandes entspricht, sollen durch das Wattmeter 3,67 mA fließen. Beim Abgleich müssen also 2 Ströme gemessen werden, sodaß der Fehler bei normalen Instrumenten 3 % betragen kann.

Bei Verwendung der Wattmeter von Hartmann u. Braun entfällt der Nebenwiderstand.

b) Wattmeter-Fehler:

Der Wattmeterfehler beträgt nach der Klasseneingabe 1,5 % für die kleinen Wattmeter und 0,2 % für die Wattmeter von Hartmann u. Braun.

i) Resultierender Meßfehler:

Um den größtmöglichen Fehler zu erhalten, werden die einzelnen prozentualen Leistungsfehler addiert. Dabei ist es unwahrscheinlich, daß im praktischen Betrieb der größtmögliche Fehler auftreten kann, weil nicht alle Fehler in der gleichen Richtung wirken.

Alle Werte sind auf 500 kV bezogen.

	mA.	50	40	30	20	10	5	1
Koronastrom	mA	7	7	7	7	7	7	7
Kondensator-Verluststrom	mA	43	33	25	13	3	2	6

Leistungsfehler durch:

Kondensator-Verluste	%	2,8	3,5	4,7	7	14	28	140
Fehlwinkel durch Wandler u. Kompensation	%	0,08	0,12	0,24	0,67	5,8	10	2,32
Stromfehler des Wandlers	%	2,5	2,35	2,15	2,0	1,5	1,2	1,7
Hochohm-Widerstand	%	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Nebenwiderstand	%	3	3	3	3	3	3	3
Wattmeter	%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Resultierender Fehler i. S.u.M. Wattmeter	%	11,5	12	13	16	27	45	150

- 34 -

- 34 -

Resultierender
Fehler f.N.u.B. % 7,2 7,7 8,7 11,7 22,7 40,7 145,7
Wattmeter

Der Fehler, der durch die Kondensator-Verluste entsteht, und der resultierende Leistungsfehler sind im Bild 1 graphisch dargestellt. Die Kondensatorverluste verursachen in erster Linie die Ungenauigkeit bei der Korona-Messung.

Um das Fehler-Maximum nach der Seite der kleineren Korona-Leistung zu verschieben, müßte der Verlustfaktor des Kompensations-Kondensators verringert werden.

Trotzdem der mögliche maximale Meßfehler, der der Wahrscheinlichkeit nach nie erreicht wird, bei kleiner Leistung prozentual hohe Werte erreicht, ist die Auswirkung der Fehler auf das Meßergebnis nur gering, wie an einem Beispiel gezeigt werden soll.

Als Beispiel dienen die Meßergebnisse der Korona-Meßanlage der AEG in Hennigsdorf aus dem Jahre 1943 an einem 52 mm Aluminium-Seil. Im Bild 2 ist die Verlust-Kurve abhängig vom Ladestrom eingezeichnet. Im Abschnitt VII/1 wurde als Leitung A ein Seil mit 55 mm Durchmesser angegeben. Für dieses Seil sind in der nachstehenden Tabelle die Ladeströme für verschiedene Spannungen berechnet. Diese Ladeströme müssen wegen des ähnlichen Seiles mit den Ladeströmen in Bild 2 ungefähr übereinstimmen, sodaß die Werte der Phasenspannung aus der Tabelle in das Bild 2 übertragen werden können. Aus den gemessenen Verlusten ergibt sich der Korona-Strom, auf den die berechneten Meßfehler bezogen werden. Die Meßfehler sind mit der Streuung, die nach den Hennigsdorfer Messungen infolge der Einflüsse von Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Staub auftritt, in Bild 2 eingezeichnet. Das Bild zeigt, daß die Meßfehler gegenüber der Streuung nicht ins Gewicht fallen.

U Phase KV	berechneter Ladestrom A/mm	gemessene Verluste kW/mm	Strom aus gemessenen Verlusten n A	berechneter Meßfehler F ₀ /o	KW.
500	1,49	—	—	—	—
450	1,34	223	495	—	—
400	1,19	126	315	—	—
350	1,04	52	149	7	3,6
300	0,89	7	23	23	1,6
250	0,84	0	0	—	—
200	0,744	—	—	—	—

- 35 -

VIII. Berechnung der Ölkühlanlage.

1.) Öltemperaturen.

a) Kühlleistung.

An die Kühlanlage anzuschließen sind:
3 Hochohm-Widerstände mit je 15 kW und 3 Drosseln mit je 6 kW
Verlustleistung. Die durch die Kühlanlage abzuführende Leistung be-
trägt demnach 65 kW. Die Öl-Temperatur in den Wärköten darf bis auf
90° C ansteigen. Wasserkühlung ist deshalb nicht erforderlich. Da
die Anlage nicht längere Zeit mit Volllast gefahren wird, kann die
Kühlanlage knapp bemessen werden. Vorgesehen wird der kleinste ge-
normte Öl-Luftkühler für 75 kW nach DIN 42 557.

b) Hochohmwiderstand.

Die Anschluß-Leitungen haben eine lichte Weite von 25 mm. Die
Strömungsgeschwindigkeit wird zu

$$v = 1,0 \text{ m/s angenommen.}$$

Öl-Menge für einen Widerstand:

$$\begin{aligned} M &= F \cdot v \\ &= 4,92 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm/s} \\ &= 0,5 \text{ l/s} \\ &= 0,45 \text{ kg/s.} \end{aligned}$$

An einen Widerstand stündlich abzuführende Wärmemenge:

$$Q = 15 \cdot 860 = 12900 \text{ kcal/h}$$

Temperatur-Differenz am Widerstand:

$$\begin{aligned} (t_n - t_o) &= \frac{Q}{M \cdot c} \\ &= \frac{12900}{0,45 \cdot 860 \cdot 0,4} \\ &= 20^\circ \text{ C.} \end{aligned}$$

c) Drossel-Spule.

Zuleitung DN 25 wie oben,

Strömungs-Geschwindigkeit: $v = 1,0 \text{ m/s}$

$$M = 0,5 \text{ l/s}$$

$$= 0,45 \text{ kg/s}$$

$$\text{Leistung } H = 6 \text{ kW.}$$

- 36 -

- 36 -

Wärmemenge stündlich: $Q = 6.860 = 5160 \text{ kcal/h}$
 Temperatur-Differenz:

$$t_a - t_e = \frac{Q}{K \cdot F} = \frac{5160}{0,45 \cdot 3600 \cdot 0,4} = 8^\circ \text{C.}$$

d) Sammelleitung:

Länge in der Sammelleitung:

$$L_s = 3 \times 0,5 + 3 \times 0,5 = 3 \text{ m} = 2,7 \text{ kg/s}$$

$$= 3 \cdot 3,6 = 10,8 \text{ m}^3/\text{h} = 9700 \text{ kg/h}$$

Querschnitt der Sammelleitung:

$$50 \text{ LW } d_i = 49 \text{ mm } F_i = 18,9 \text{ cm}^2 = 0,189 \text{ dm}^2$$

Geschwindigkeit in der Sammelleitung:

$$v = \frac{M}{F} = \frac{3}{0,189} = 16 \text{ dm/s}$$

$$= 1,6 \text{ m/s}$$

Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf-Sammelleitung:

$$M = 2,7 \text{ kg/s} \cdot 12900 \cdot 3 + 5160 \cdot 3$$

$$= 54.180 \text{ kcal/h}$$

$$(t_a - t_e) = \frac{Q}{K \cdot F} = \frac{54.180}{2,7 \cdot 3600 \cdot 0,4} = 14^\circ \text{C}$$

2.) Strömungswiderstände

a) Sammelleitung bis zur 2. Drossel und zum 2. Widerstand:

$$\text{Gesamtlänge } L = 20 \cdot 2 = 40 \text{ m}$$

Armaturen mit Widerstandsbeiwerten:

10 aufgeschweißte Rohrstutzen für Ausdehnungsgefäß,
 Handpumpe, 2 Drosselspulen, 2 Widerstände:

$$\sum = 2 \cdot 10 = 20$$

2 eingeschweißte Rohre für Fließkontrolle:

$$\sum = 4 \cdot 2 = 8$$

3 Rohrbojen 90°

$$\sum = 0,5 \cdot 3 = 1,5$$

$$\text{Summe der Beiwerte: } \sum A = 32$$

- 37 -

- 37 -

Mittlere Öltemperatur: $t_g = 30^\circ \text{C}$
 Viskosität des Öles bei 30°C 3 Grad Engler

Absolute Zähigkeit:

$$\begin{aligned} \eta \cdot 10^5 &= j \left(0,746 \cdot \eta - \frac{0,643}{j} \right) \\ &= 880 \left(0,746 \cdot 3 - \frac{0,643}{3} \right) \\ \eta &= 1,782 \cdot 10^{-3} \text{ kgs/m}^2 \end{aligned}$$

Reynoldssche Zahl

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{v \cdot d \cdot j}{\eta} = \frac{1,6 \cdot 49 \cdot 880}{1,782 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}} \\ &= 3940 \\ &\approx 4 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

Widerstandsbeiwert λ nach Blasius:

$$\lambda = 0,04$$

Rohrwiderstand der Sammelleitung:

$$\begin{aligned} \zeta_R &= \frac{\lambda \cdot l}{d} = \frac{0,04 \cdot 30}{49 \cdot 10^{-3}} \\ &= 32,7 \approx 33 \end{aligned}$$

Summe der Widerstandsfaktoren:

$$\sum \zeta = \zeta_A + \zeta_R = 32 + 33 = 65$$

Druckverlust in der Sammelleitung:

$$\begin{aligned} P_g &= \sum \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot j = 65 \cdot \frac{2,56}{2 \cdot 9,81} \cdot 100 \\ &= 7470 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$P_g = 0,747 \text{ ata}$$

b) Anschlüsse zu den Drosseln und Widerständen:

$$\begin{aligned} \text{Rohrlänge: } l &= 6 \text{ m} & d_1 &= 25 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ & & F_1 &= 4,92 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- 38 -

- 33 -

Armaturen mit Widerstandsbeiwerten:
 4 Ventile $\lambda = 25$
 6 Knie 90°
 Einlauf am Gerät

$$\begin{array}{rcl} \zeta & = & 4 \cdot 4 = 16 \\ \zeta & = & 1,5 \cdot 6 = 9 \\ \zeta & = & 2 = 2 \\ \hline \zeta_R & = & 27 \end{array}$$

Reynoldssche Zahl:

$$R_e = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta \cdot g} = \frac{1,25 \cdot 880 \cdot 10^{-3}}{1,782 \cdot 9 \cdot 10^{-3}} = 1,257 \cdot 10^3$$

Widerstandsbeiwert nach Blasius:

$$\lambda = 0,055$$

$$\zeta_R = \lambda \cdot \frac{l}{d} = \frac{0,055 \cdot 6}{25 \cdot 10^{-3}} = 13$$

$$\Sigma \zeta = \zeta_A + \zeta_R = 27 + 13 = 40$$

Druckverlust in der Abzweigleitung:

$$P_a = \Sigma \zeta \frac{v^2}{2g} \cdot \rho = 40 \frac{1}{2 \cdot 9,81} \cdot 800 = 1800 \text{ kg/m}^2$$

$$P_a = 0,18 \text{ ata}$$

c) Rechner:

Nach Angabe von DIN-Einheitensblatt 42 557 ist der Strömungswiderstand bei $25 \text{ m}^3/\text{h}$ Öl von 80° auf $73,5^\circ$ maximal 5 n WS. Der Druckverlust muß auf die errechnete Ölmenge umgerechnet werden.

Der Rohrquerschnitt wird angenommen zu $F_1 = 0,189 \text{ dm}^2$ entsprechend $\lambda = 50$.

- 39 -

- 39 -

Strömungsgeschwindigkeit bei $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$v_1 = 1,6 \text{ m/s}$$

Strömungsgeschwindigkeit bei

$$M = 25 \text{ m}^3/\text{h} = 7 \text{ l/s}$$

$$v_2 = \frac{7}{0,189} = 3,7 \text{ m/s.}$$

Strömungswiderstand bei $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$P_k = P \cdot \frac{v_1^2}{v_2^2} = 5 \cdot \frac{1,6^2}{3,7^2} = 0,94 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$= 0,1 \text{ atü}$$

d) Gesamter Förderdruck:

Außer den berechneten Strömungswiderständen muß die Pumpe noch die statische Höhe überwinden:

Förderhöhe: $h = 4,5 \text{ m Ölsäule}$

$$= 4,5 \cdot 0,88 = 4 \text{ m WS}$$

$$P_h = 0,4 \text{ atü}$$

Gesamter Förderdruck für die Umlaufpumpe

$$P = P_B + P_a + P_k + P_h$$

$$= 0,747 + 0,18 + 0,1 + 0,4$$

$$= 1,427$$

$$P \approx 1,5 \text{ atü}$$

e) Förderdruck bei höherer Temperatur:

Bei einer Öltemperatur von 60°C ist die Viskosität

$$\gamma = 2^\circ \text{ E}$$

Absolute Zähigkeit:

$$\gamma \cdot 10^6 = 880 \left(0,746 \cdot 2 - \frac{0,643}{2} \right)$$

$$= 1312 - 203$$

$$\gamma = 1,029 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$$

- 40 -

- 40 -

Strömungswiderstand der Sammelleitung:

$$R_0 = \frac{1,6 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 880}{1,029 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81} = 6850 \approx 7 \cdot 10^3$$

$$\lambda = 0,021$$

$$\xi_R = \frac{\lambda \cdot l}{d} = \frac{0,021 \cdot 40}{49 \cdot 10^{-3}} = 17$$

Man kann annehmen, daß der Widerstand der Armaturen im gleichen Verhältnis wie der Widerstand der Leitung sinkt.

$$\xi_R = 33 \quad \text{sinkt auf } 17$$

$$\xi_A = 32 \quad \text{sinkt auf } 16,5$$

$$\sum \xi = 17 + 16,5 = 33,5$$

$$P_E = 33,5 \frac{2,56}{2,9,81} \cdot 880 = 3845 \text{ kg/m}^2$$

$$P_E = 0,3845 \text{ atü}$$

Strömungswiderstand der Anschlussleitung:

$$R_0 = 2,2 \cdot 10^3 \quad \lambda = 0,04$$

$$\xi_R = \frac{0,04 \cdot 6}{25 \cdot 10^{-3}} = 10$$

$$\xi_R = 13 \text{ sinkt auf } 10$$

$$\xi_A = 27 \text{ sinkt auf } 21$$

$$\sum \xi = 10 + 21 = 31$$

$$P_A = 31 \frac{1}{2,9,81} \cdot 880 = 1390 \text{ kg/m}^2$$

$$P_A = 0,139 \text{ ata}$$

- 41 -

- 41 -

Die Druckänderung im Öl-Kühler kann vernachlässigt werden.
Gesamter Förderdruck für die Umwälzpumpe bei 60° C Öltemperatur:

$$P = 0,3843 + 0,139 + 0,1 + 0,4$$

$$= 1,0235$$

$$P \approx 1 \text{ atü}$$

Durch die Temperaturerhöhung des Öles bei Vollast sinkt der Gegendruck um 33 % ab. In Wirklichkeit steigen die Fördermenge und damit auch die Strömungsgeschwindigkeit und der Strömungswiderstand soweit an, daß zwischen Förderdruck der Pumpe und Strömungswiderstand Gleichgewicht besteht. Die Kühlleistung wird durch das Sinken der Viskosität und Steigen der Strömungsgeschwindigkeit erhöht.

Bei sinkender Temperatur vermindert sich die Kühlleistung entsprechend. Die knappe Auslegung der Kühlanlage ist gerechtfertigt.

- 42 -

- 42 -

II. Kurze Berechnung der Gleichstrom-Anlage.

Wie bereits unter III. gesagt, soll die Villard-Schaltung Verwendung finden.

1.) Mechanischer Gleichrichter.

In dem unter III) erwähnten Bericht "Erzeugung der Gleichspannung für eine Korona-Meßanlage" wurde gezeigt, daß ein Gleichrichter mit Kugeln als Kontaktgeber nur eine geringe elektrische Leistung liefern kann. Der günstigste Kontaktwinkel beträgt 75 Grad el. Dieser Winkel wird ungefähr erreicht, wenn die Länge des feststehenden Kontaktes 60 Grad el. beträgt.

Die Verstellung des Kontaktpunktes am Gleichrichter kann mittels Drehregler geschehen. Der Drehregler muß für die volle Leistung des Antriebmotors bemessen sein. Es kann auch der Ständer des Antriebmotors durch einen kleinen Verstell-Motor über Schneckentrieb verdreht werden. Welches System gewählt wird, hängt von den Beschaffungsmöglichkeiten ab.

2.) Röntgenpunkt-Beobachtung.

Die Kontrolle des Röntgen- und Löschpunktes erfolgt in einfacher Weise mit einem tragbaren Kathoden-Strahl-Oszillographen. Mit dem Oszillographen können auch das Arbeiten des Gleichrichters sowie Gleichstrom und Gleichspannung kontrolliert werden.

Als Meßwiderstand wird in die Erdleitung des Gleichstrom-Kondensators ein ohmscher Widerstand von 500 Ω gelegt. Bei einem Ladestrom von 0,5 Amp. Scheitelwert entsteht eine Meßspannung von 150 Volt.

3.) Kondensatoren.

Die Größe des Gleichstrom-Kondensators wurde in dem erwähnten Bericht zu 33 000 pF bestimmt. Um mit einer einzigen Kondensator-Typen auskommen, sollen 3 Kondensatoren von je 66 000 pF und 250 kV-Gleichspannung verwendet werden. Für den Gleichstrom-Kondensator werden dann 2 Einzel-Kondensatoren in Reihe geschaltet. Der Lade-Kondensator erhält dabei die doppelte Kapazität wie der Gleichstrom-Kondensator. Die vergrößerte Kapazität wirkt sich günstig aus, weil der Spannungsabfall am Lade-Kondensator kleiner und damit die mittlere Gleichspannung größer wird.

- 43 -

SECRET

- 43 -

4.) Lade-Widerstand.

Als Lade-Widerstand für aperiodische Dämpfung sind nach dem oben erwähnten Bericht 140 000 Ω erforderlich. Der Dämpfungswiderstand wird mit etwa 220 kV eff. und 0,1 Imp. beansprucht. Als Widerstandsmaterial eignet sich Schmelzwiderstand mit 2400 Ω pro Meter, bei 0,25 mm Drahtdurchmesser und 300 mm Bandbreite. Die Bandlänge ergibt sich zu 58,3 m. Das Band soll treppenförmig aufgehängt werden. Bei einer Stufenlänge von 800 mm sind 72 Lagen erforderlich. Der Widerstand wird in 2 gleiche Teil-Widerstände zu je 36 Lagen aufgeteilt. Der Lagenabstand soll 100 mm betragen. Die Abmessungen für einen Teilwiderstand von 70 000 Ω ergeben sich wie folgt:

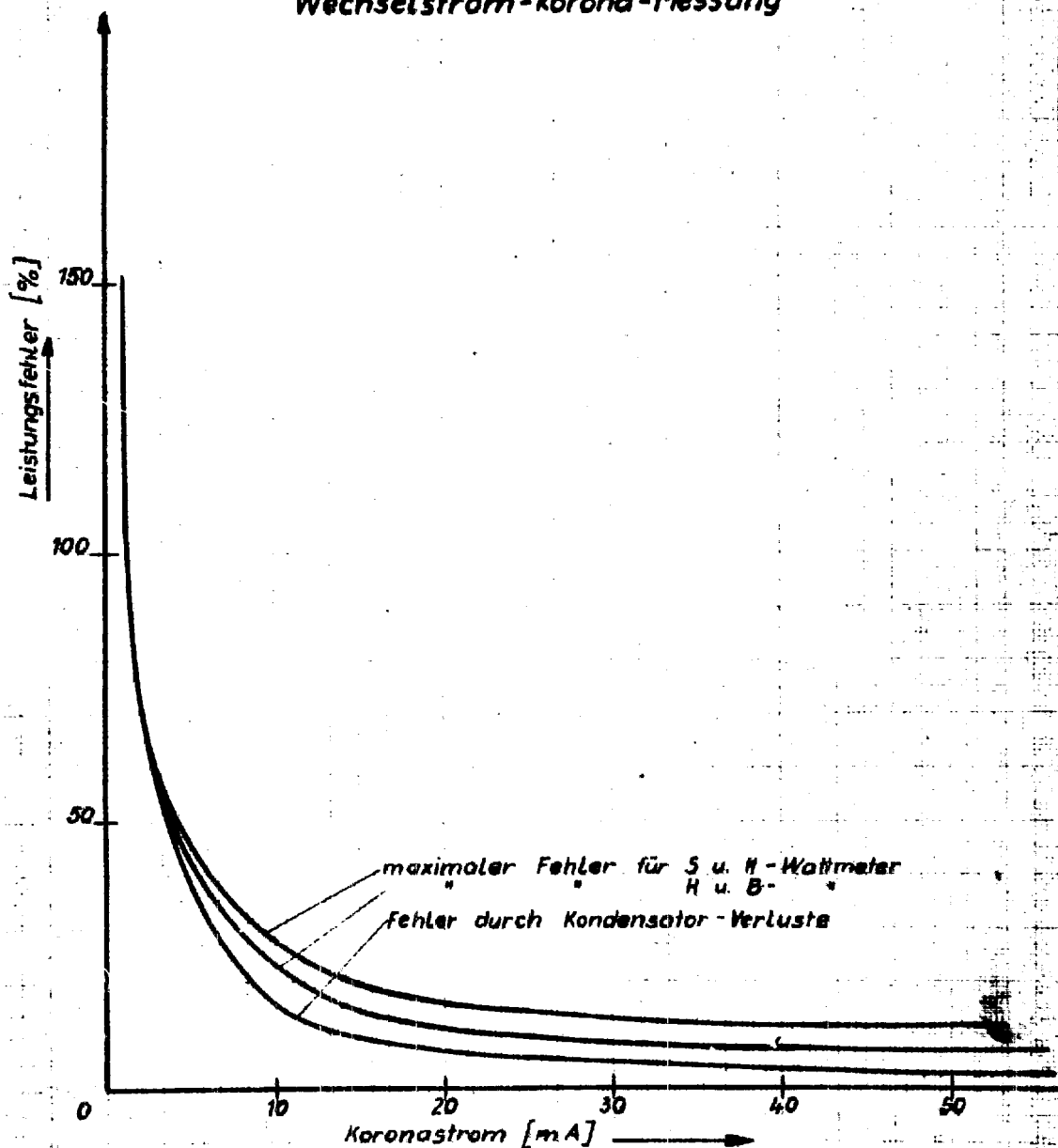
Höhe	800 mm
Breite	450 mm
Länge	2000 mm.

YEM-230

Lb 2, den 25.1.1950

SECRET

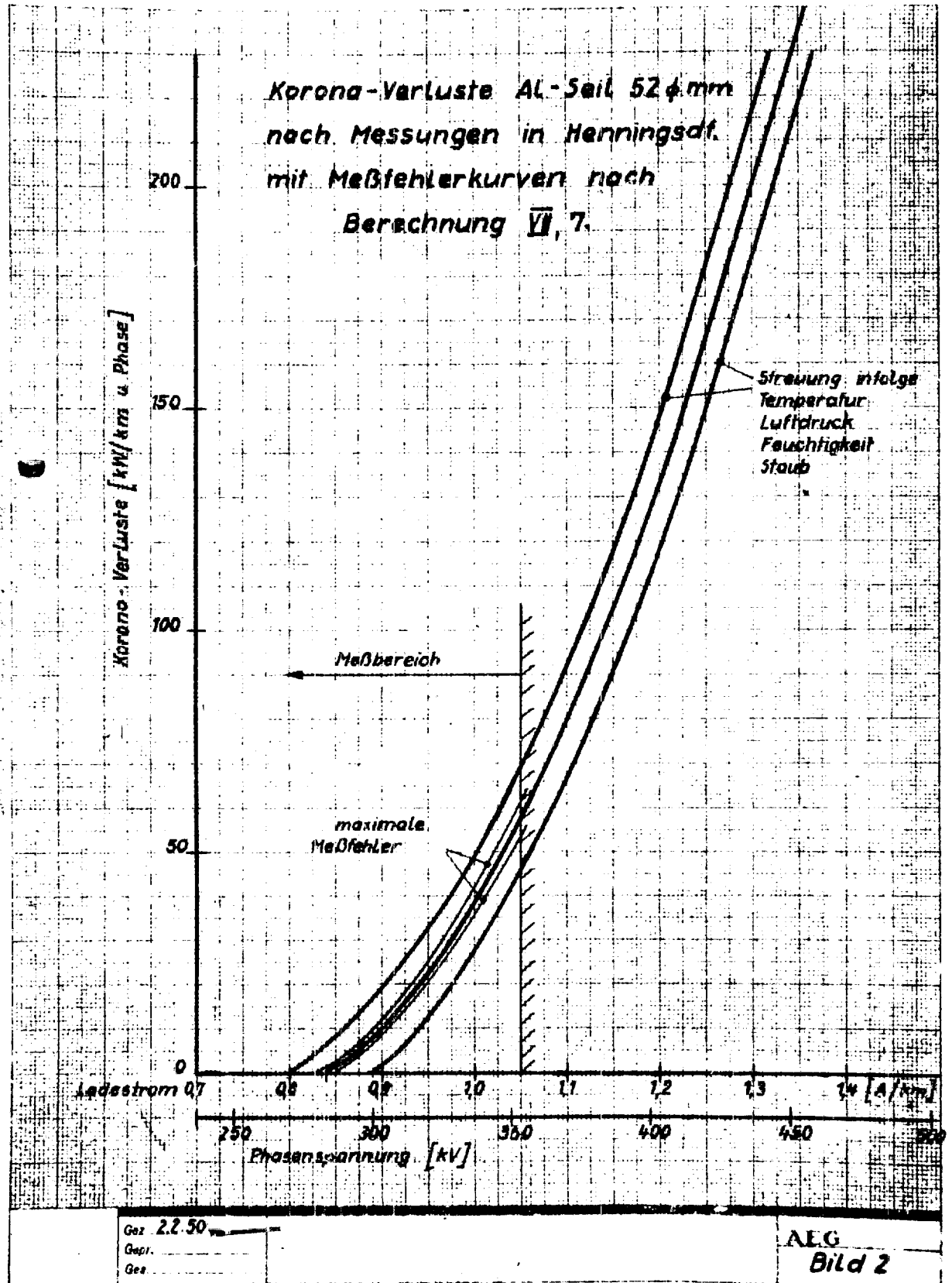
Maximaler Leistungsfehler bei der Wechselstrom-Korona-Messung

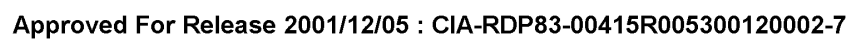


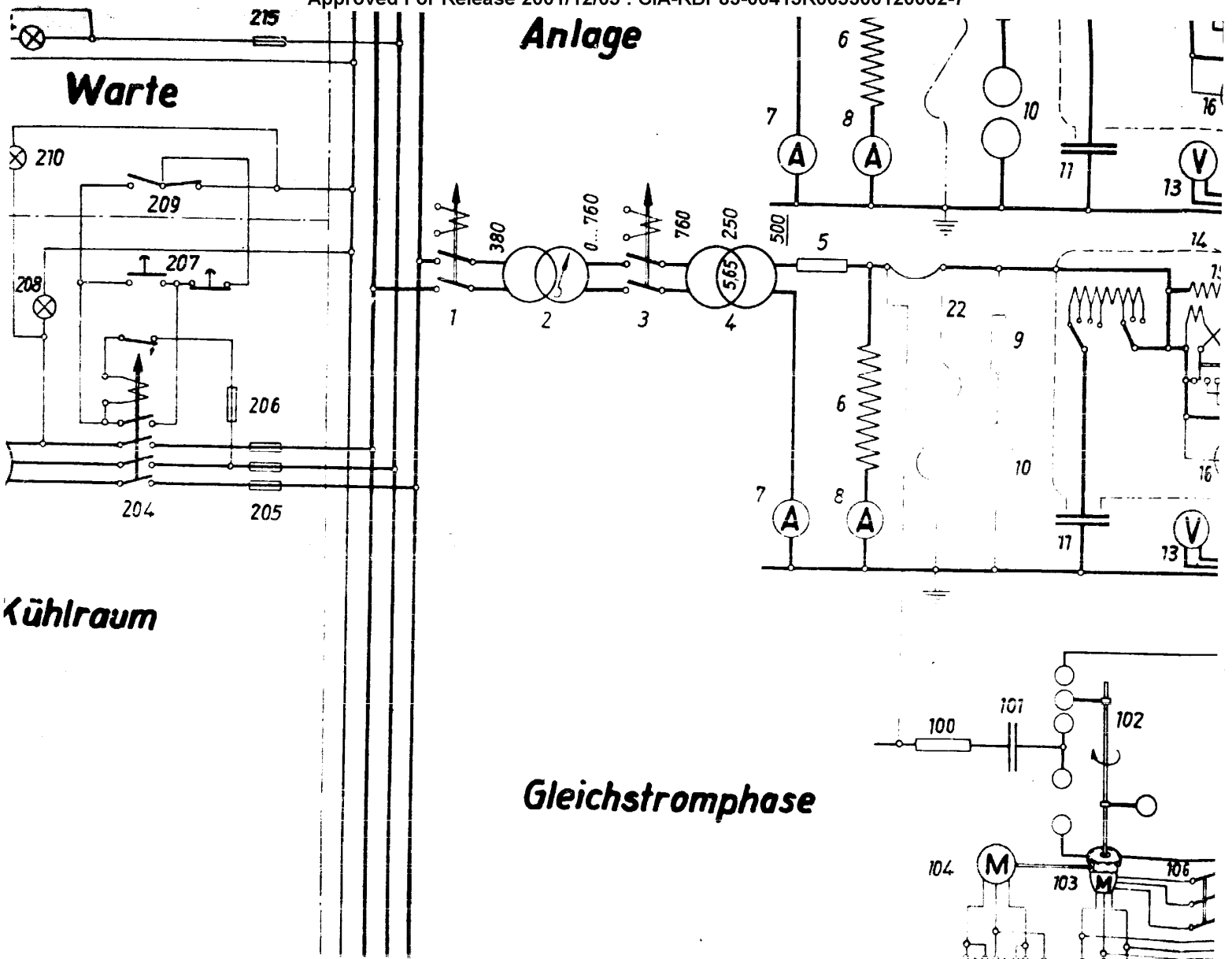
12.50

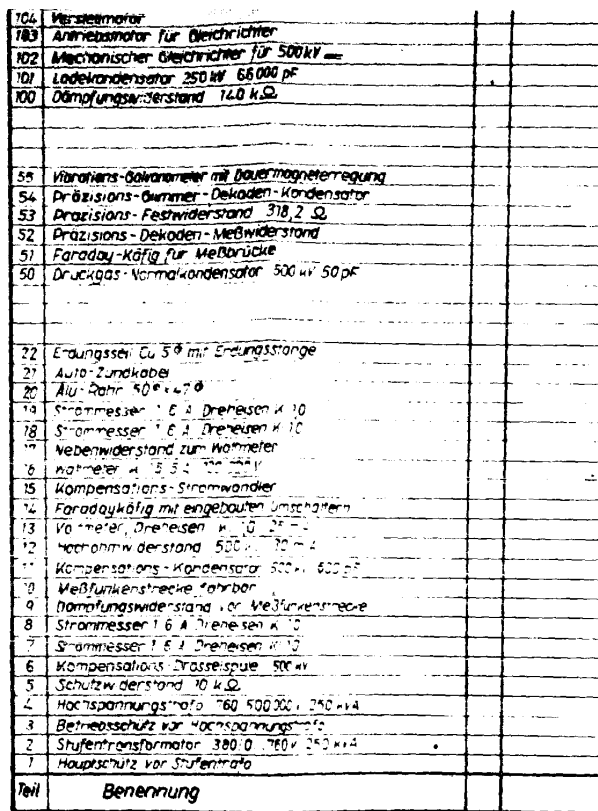
ALG

Bild 1



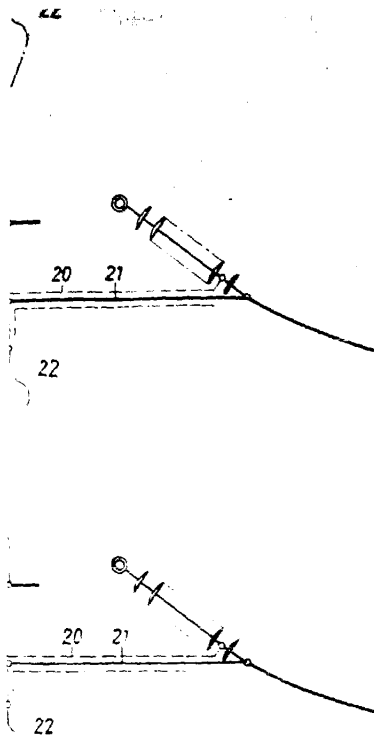






Korona - Mel

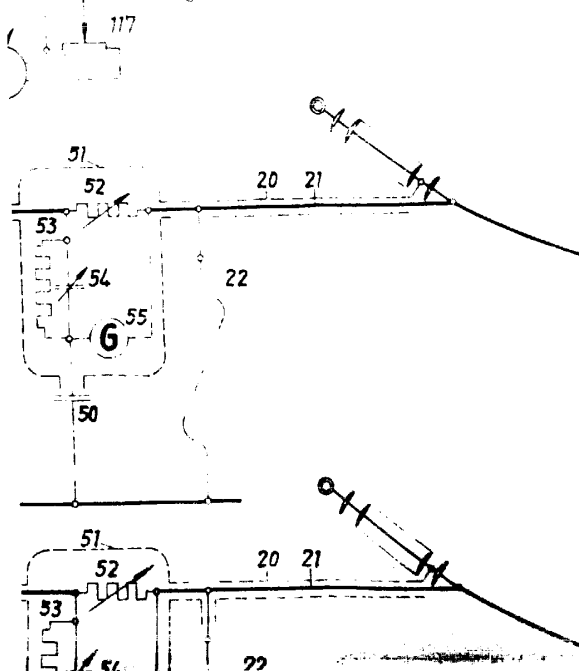
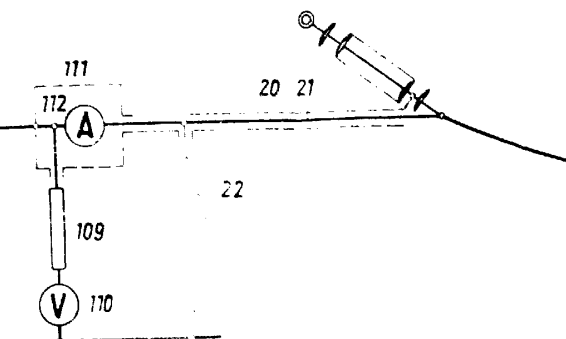
Übersichts-Sch.



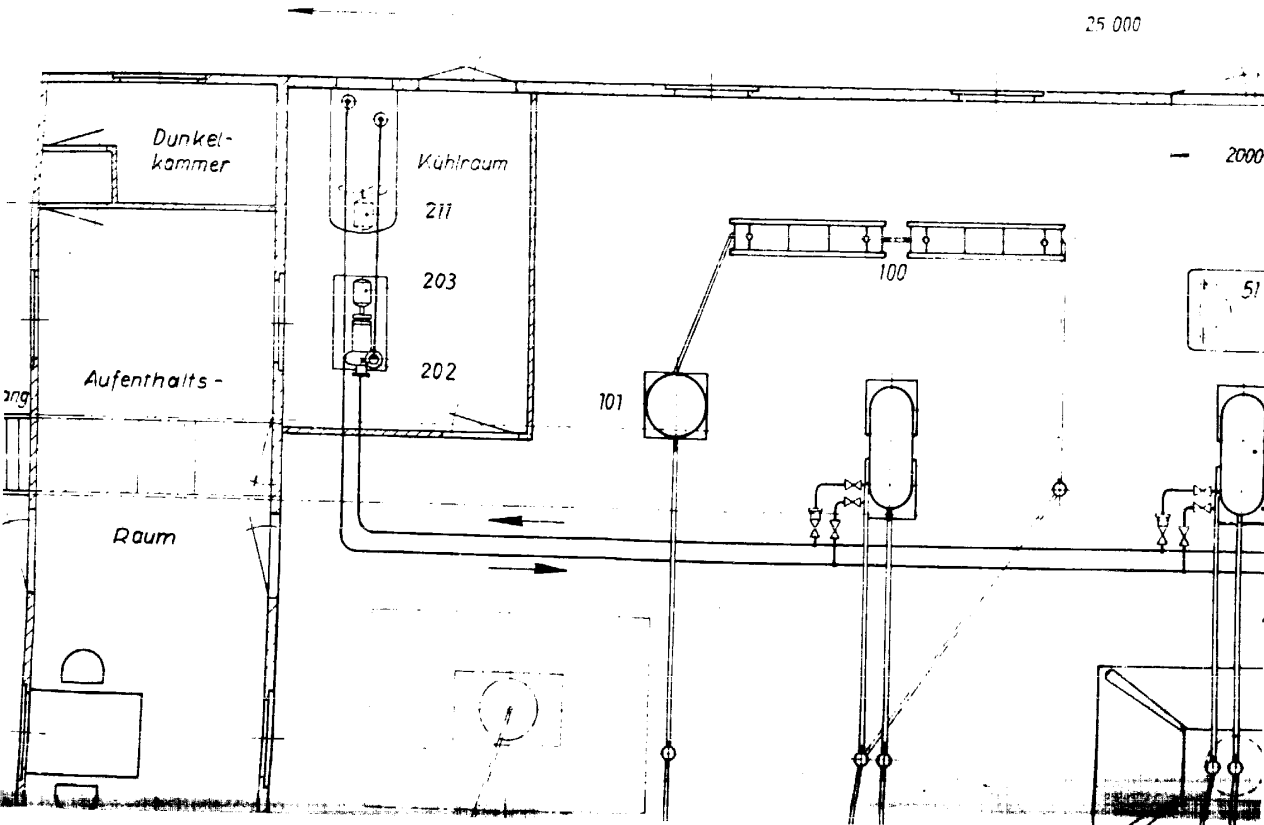
704	Verstärker	
703	Antriebsmotor für Gleichrichter	
702	Mechanischer Gleichrichter für 500 kV	
701	Ladekondensator 250 kV 66 000 pF	
700	Dämpfungswiderstand 140 kΩ	
58	Vibrations-Galvanometer mit Dauermagnetanregung	
54	Präzisions-Gummer-Dekaden-Kondensator	
53	Präzisions-Festwiderstand 318,2 Ω	
52	Präzisions-Dekaden-Meßwiderstand	
51	Faraday-Käfig für Meßrücke	
50	Druckgas-Normalkondensator 500 kV 50 pF	
22	Erdungsschleife Cu 5 m, Erdungsstange	
21	Auto-Zündkabel	
20	Alu-Zahn 50 cm lang	
19	Strommesser 10 A Drehesen x 10	
18	Strommesser 10 A Drehesen x 10	
17	Verstärkungswiderstand zum Voltmeter	
16	Wattmeter x 15 A 100 V	
15	Kompensations-Stromwandler	
14	Faraday-Käfig mit eingehenden Umschaltern	
13	Verstärker Drehesen x 10 25 A	
12	Meßwiderstand 500 Ω 30 mA	
11	Kompensations-Kondensator 500 kV 600 pF	
10	Meßfunkenstrecke Faraday	
9	Dämpfungswiderstand im Meßfunkenstrecke	
8	Strommesser 10 A Drehesen x 10	
7	Strommesser 10 A Drehesen x 10	
6	Kompensations-Druckspule 500 kV	
5	Schutzwiderstand 10 kΩ	
4	Hochspannungstrafa 760 500 000, 250 kVA	
3	Betriebsschutz vor Hochspannungstrafa	
2	Stufentransformator 380 V 760 V 250 kVA	
1	Hauptschutz vor Stufentrafa	
Teil	Benennung	

Korona - Meßanlage 50
Übersichts-Schaltplan

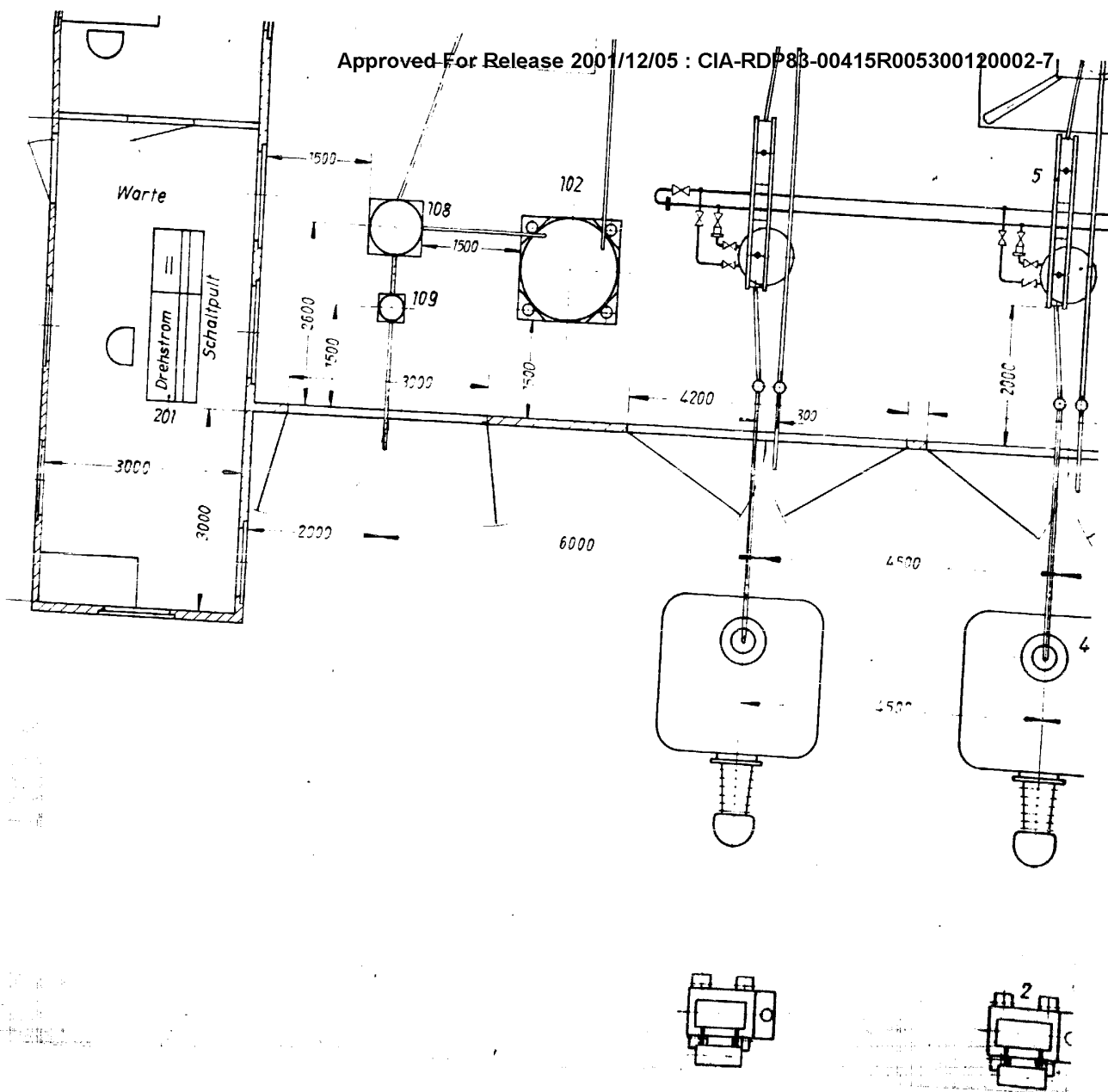
V
Lbe



215	Sicherungselement 6 A
214	Wiedelampe 220 V
213	Wiedelampe 220 V
212	Stromungsanzeiger
211	Luftermotor 380 V 17 A 1400 U/min
210	Wiedelampe 220 V
209	Tastenschalter doppel
208	Wiedelampe 220 V
207	Tastenschalter doppel
206	Sicherungselement 6 A
205	Sicherungselement 25 A
204	Schalterschütz 10 A
203	Motor für Kreislagepumpe 380 V 25 A 2800 U/min
202	Ölumlagepumpe 2 - 1 - 18 c/l
201	Transformator für Steuerkreise
200	Not-Schalterschütz 380 V 1000 A
117	Spannungsteilerwiderstand
116	Drehregler 380/220 V 250 VA
115	Schalter 380 V 6 A dreipolig
114	Kalorienstrahlheizfagroph
113	Meßwiderstand 300 Ω 0,6 A
112	Drehschalt-Strommesser 0,1 A 10 A
111	Faradaykäfig
110	Voltmeter
109	Meßwiderstand 500 kV
108	Gleichstrom-Kondensator 500 kV 33000 pF
107	Schalter 380 V 10 A dreipolig
106	Schalt-Dreieckschalter 380 V 10 A

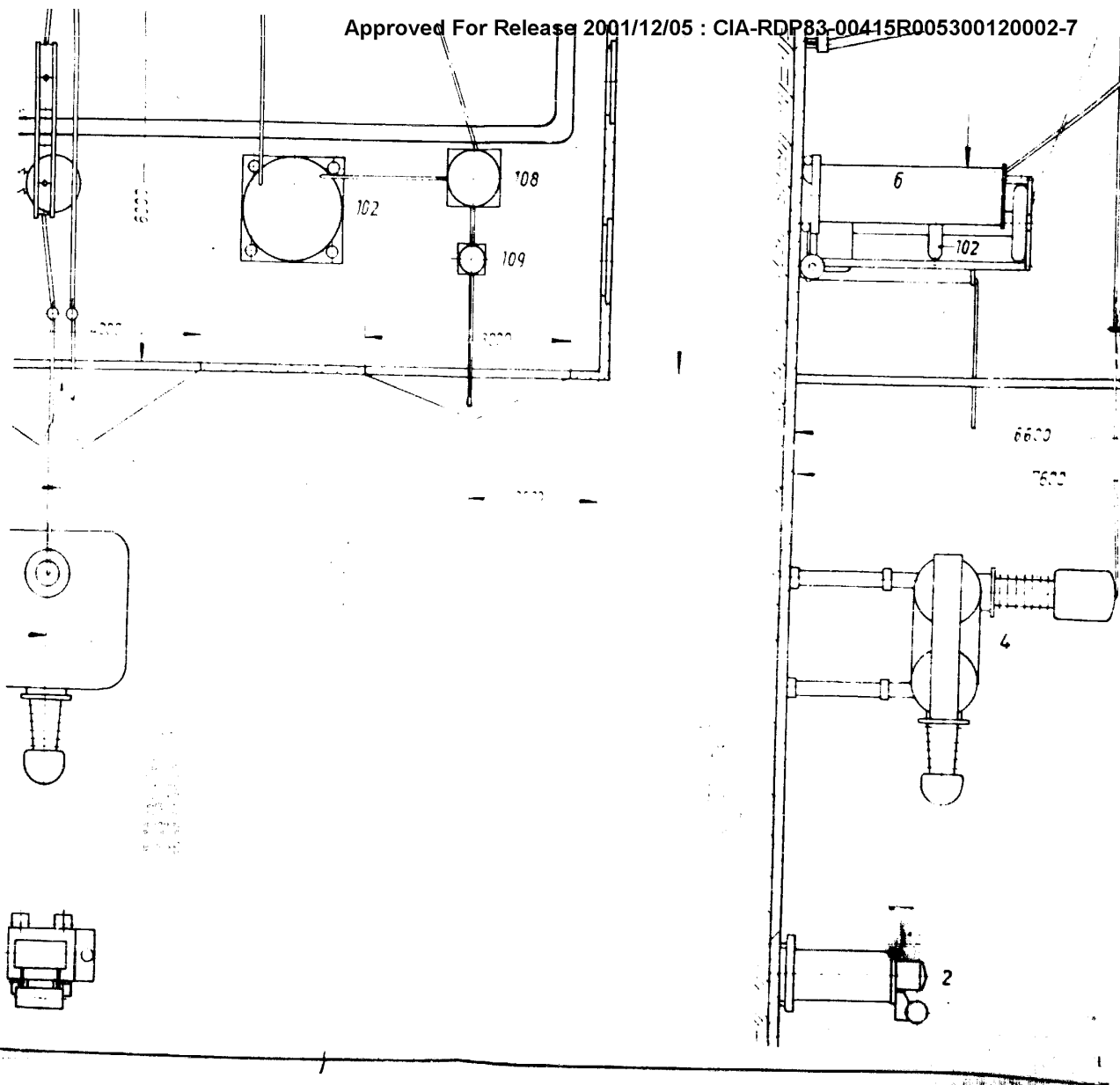


Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



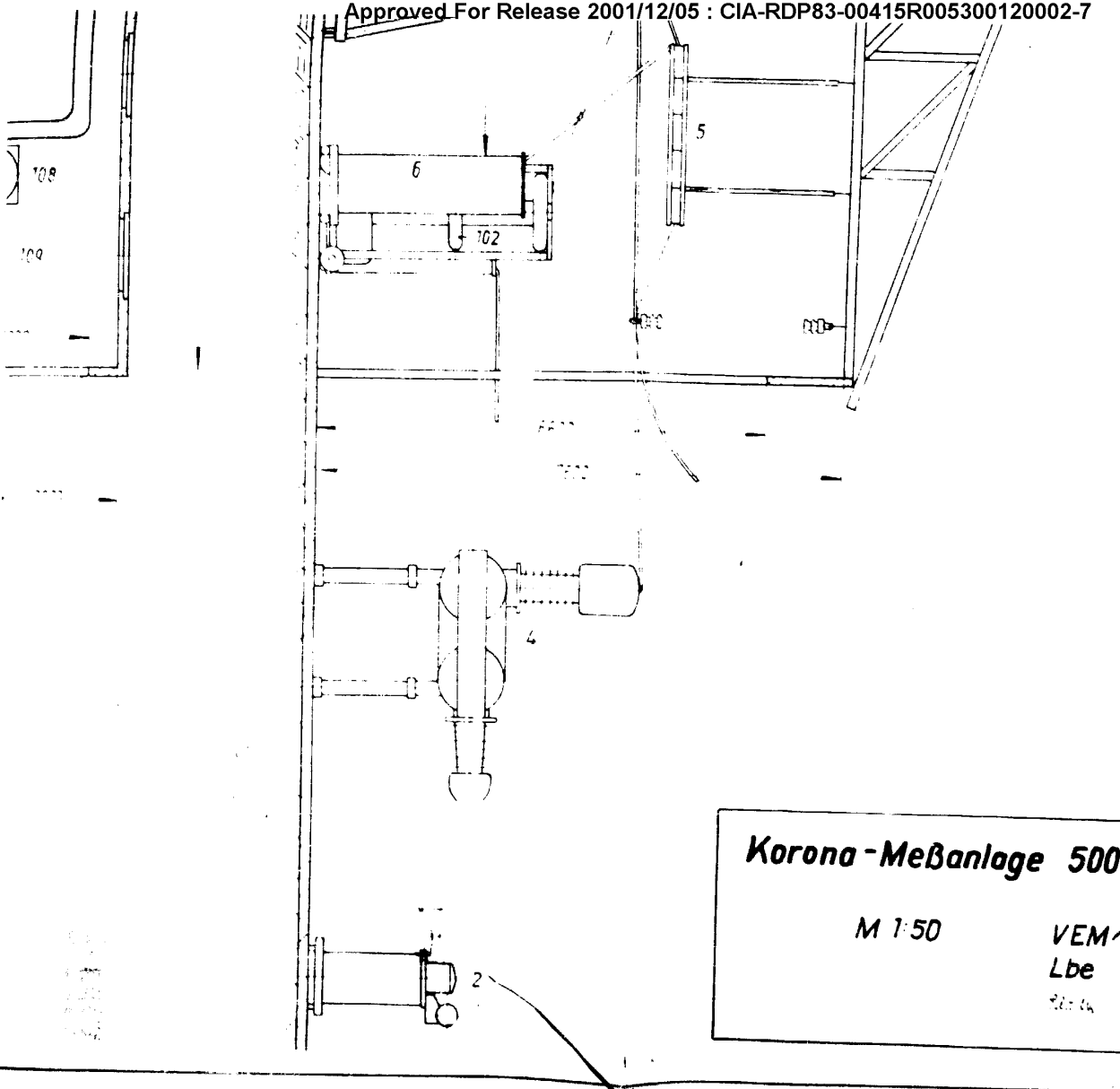
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7

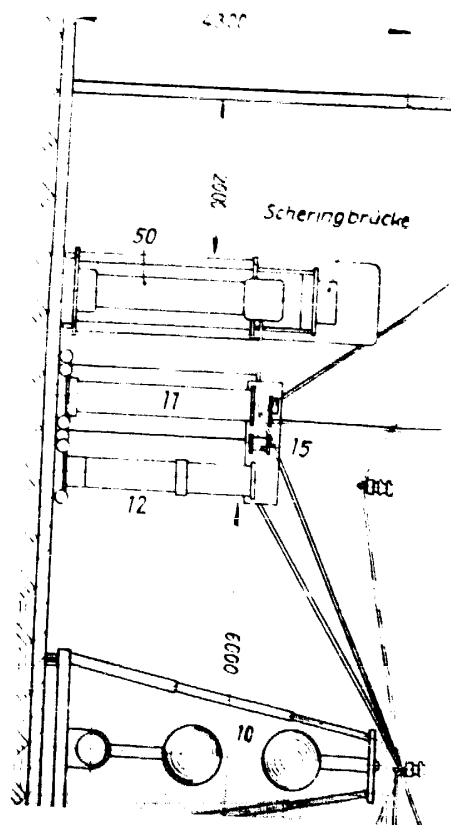
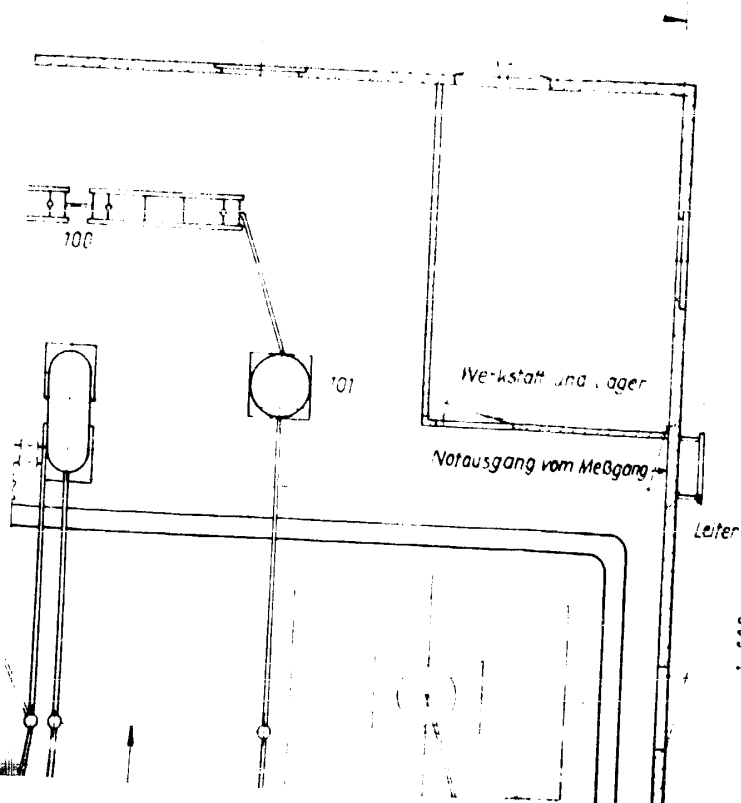


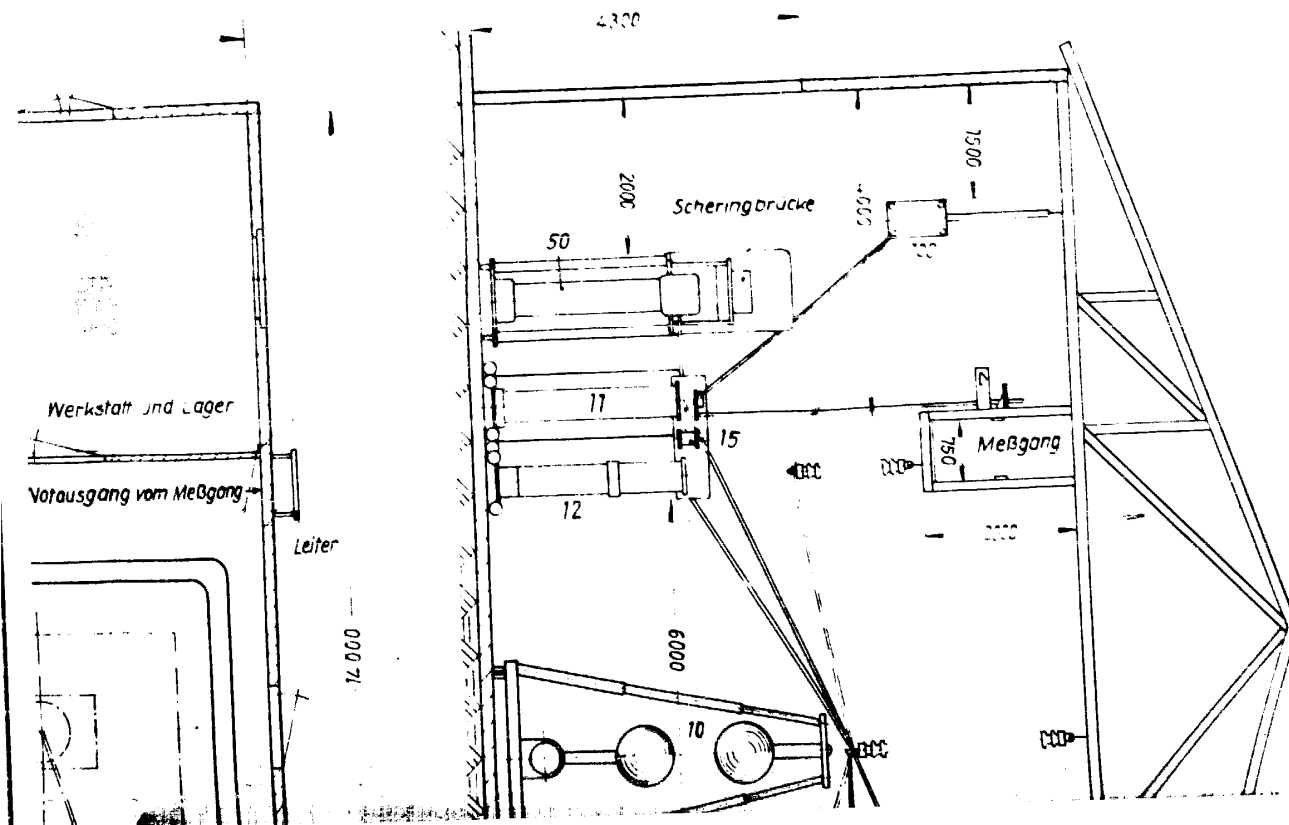
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7

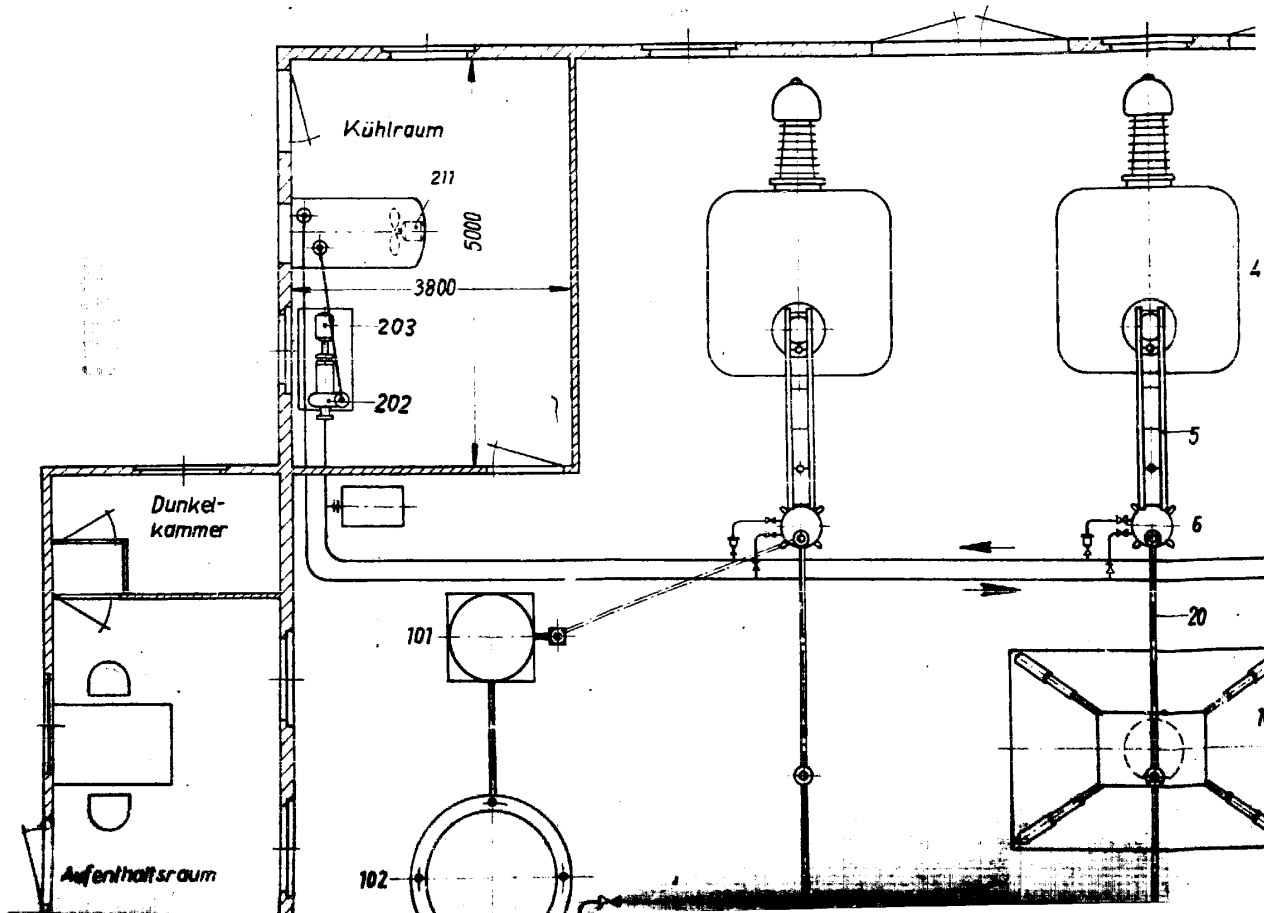
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7

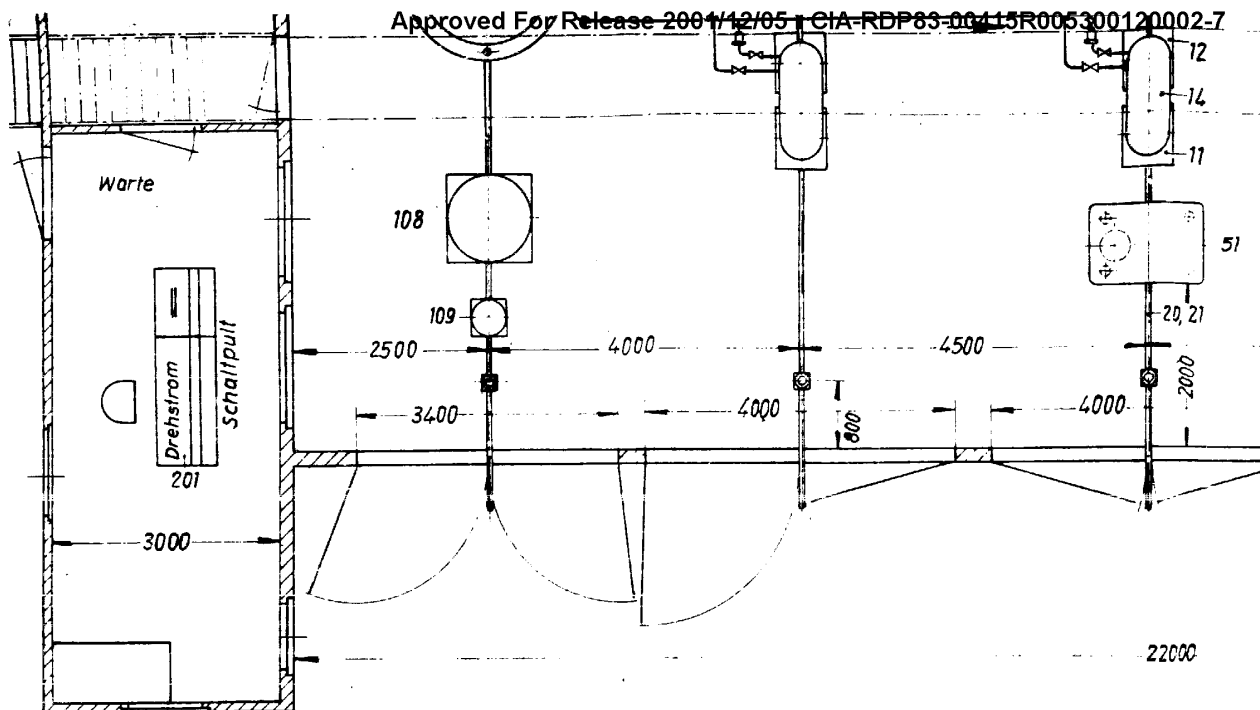


Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7

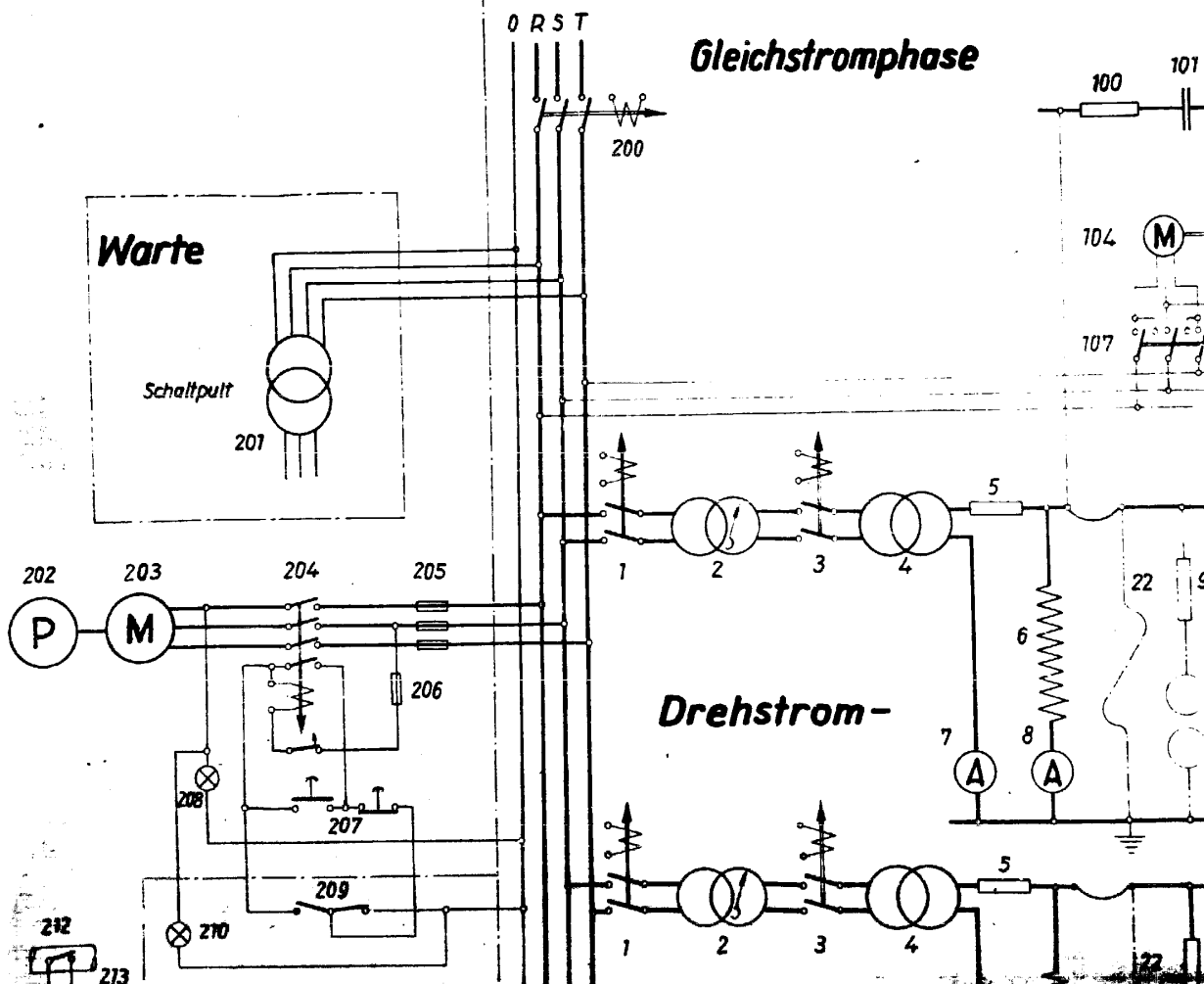


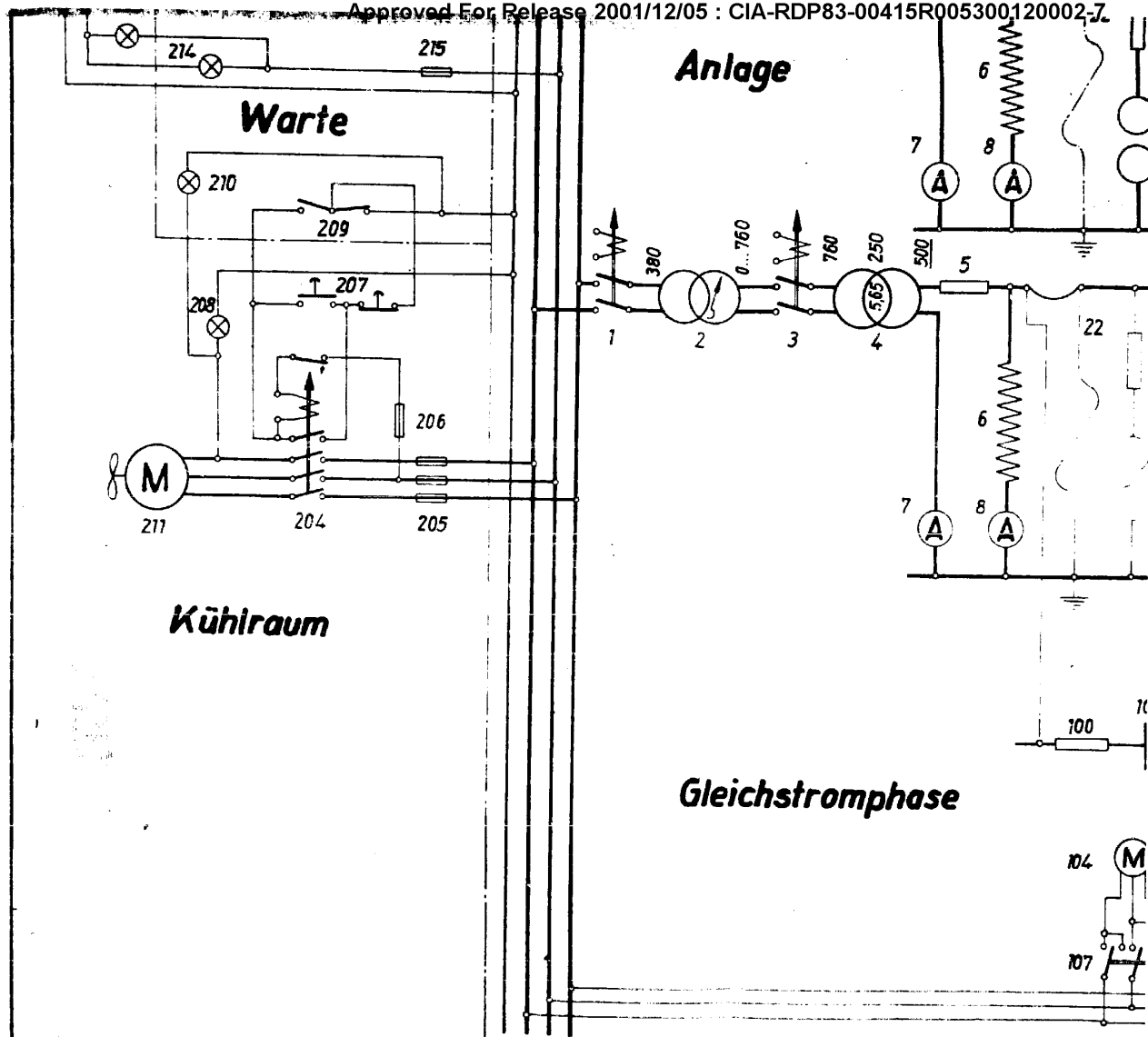






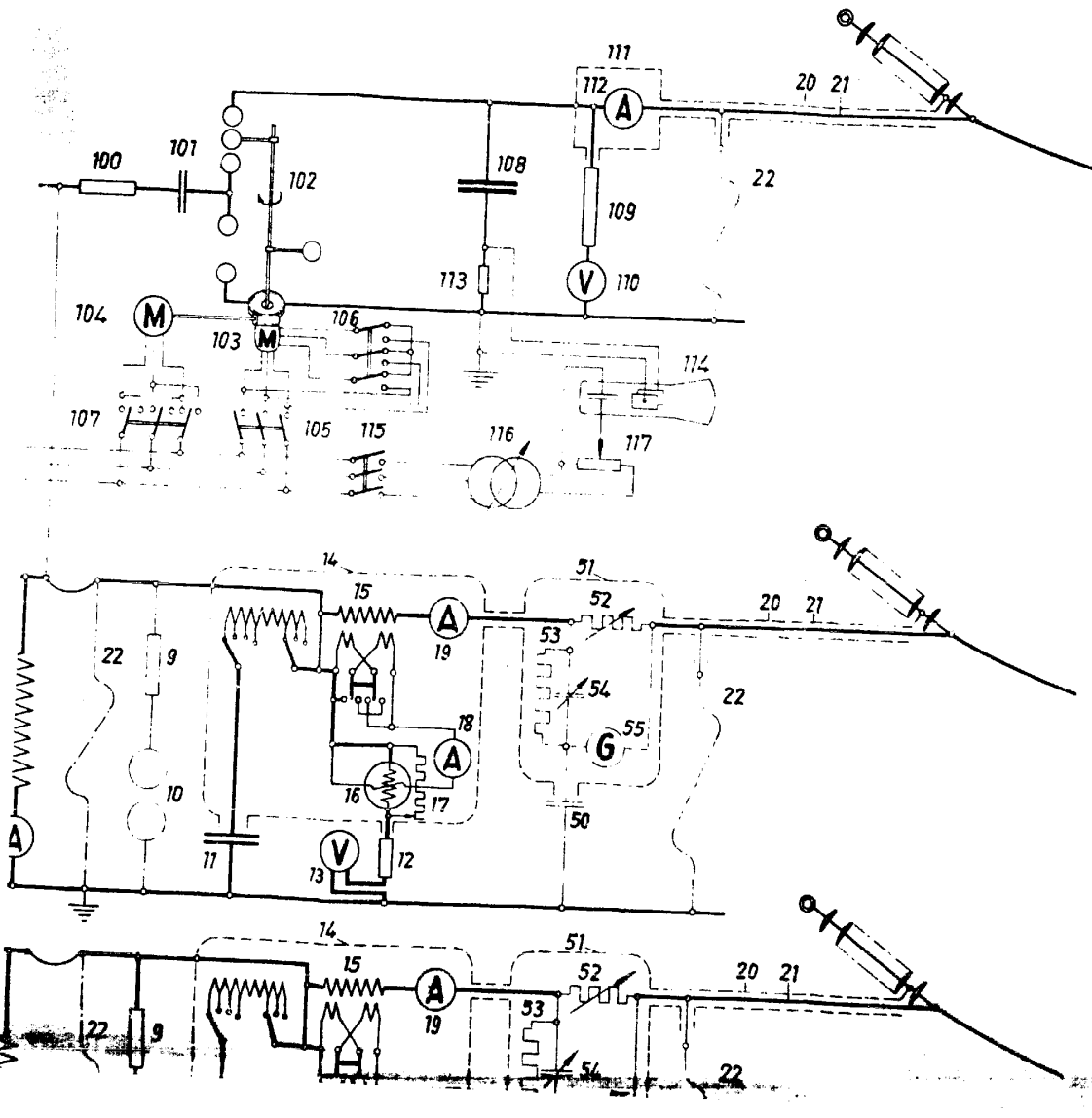
Hochspannungshalle





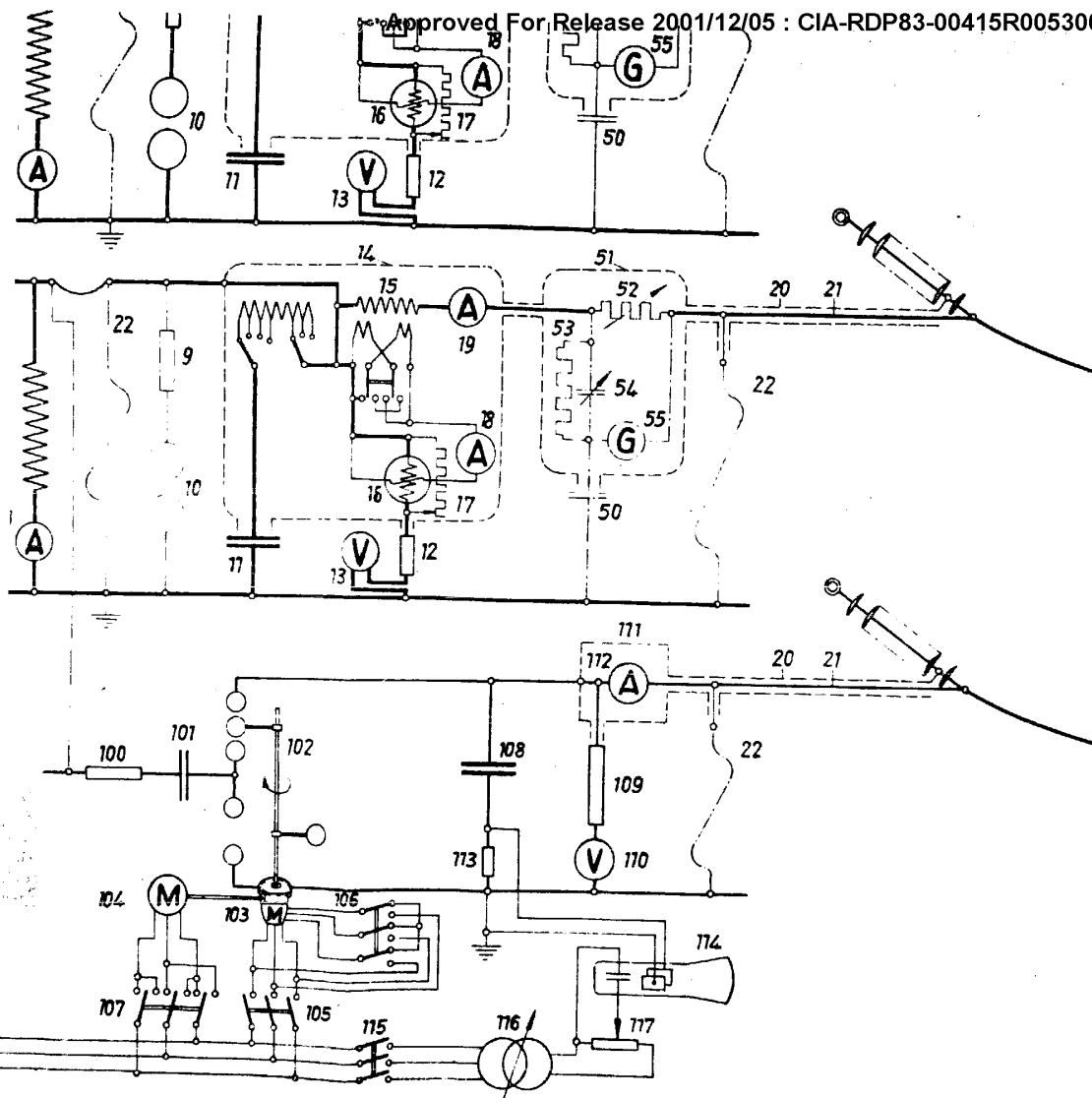
ngshalle

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



225	Sicherung
224	Meldekamp
223	Meldekamp
222	Stromungs
221	Luftrmat
220	Meldekamp
209	Tastensch
208	Meldekamp
207	Tastensch
206	Sicherung
205	Sicherung
204	Schaltersch
203	Motor für
202	Drehregler
201	Trafa im Sc
200	Nat-Schalt
117	Spannung
116	Drehregler
115	Schalter 3
114	Karbidens
113	Meldekamp
112	Drehregler
111	Faradayk
110	Voltmeter
109	Meldekamp
108	Gleichstrom
107	Schalter 3
106	Stern-Dre
105	Schalter 3
104	Parallel

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7

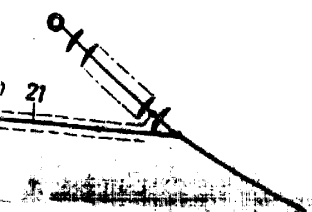
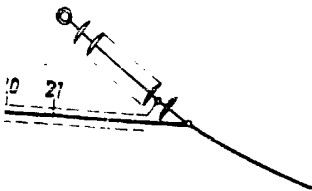
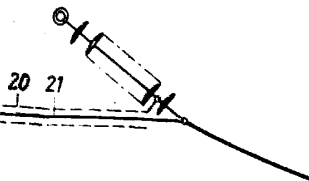


104	Verstell
103	Antrieb
102	Mechan
101	Ladekra
100	Dämpfu
55	Vibrat
54	Präzisi
53	Präzisi
52	Präzisi
51	Farada
50	Druckg
22	Erdung
21	Auto-Z
20	Alu-Pa
19	Strom
18	Strom
17	Nebe
16	Wärme
15	Kompe
14	Farada
13	Va-me
12	Hochsp
11	Kompe
10	Meßfu
9	Dämpfu
8	Strom
7	Strom
6	Kompe
5	Schutz
4	Hochsp
3	Betrie
2	Stufen
1	Haupt
Teil	E

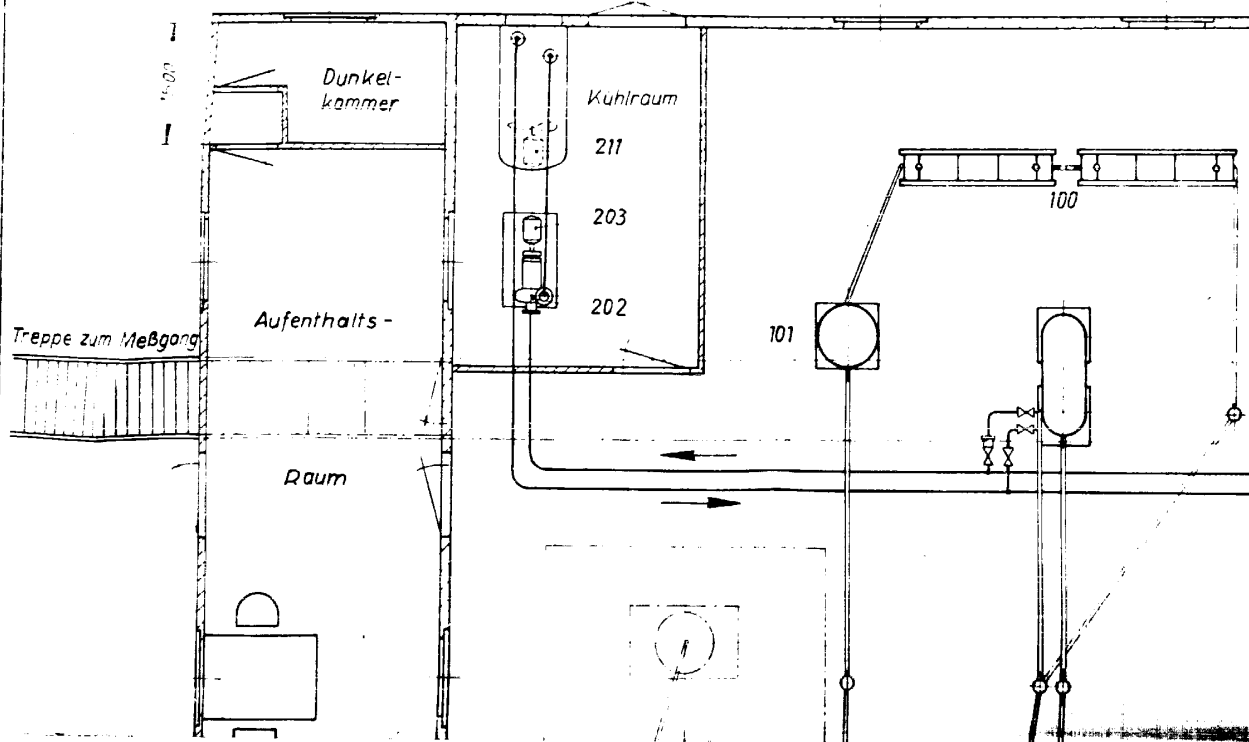
104	Verstärker	
103	Antriebsmotor für Gleichrichter	
102	Mechanischer Gleichrichter für 500 kV	
101	Ladekondensator 250 kV 66.000 pF	
100	Dämpfungswiderstand 140 kΩ	
55	Vibrations-Galvanometer mit Dauermagneterregung	
54	Präzisions-Ölwanne - Dekaden - Kondensator	
53	Präzisions - Festwiderstand 318,2 Ω	
52	Präzisions - Dekaden - Meßwiderstand	
51	Faraday-Käfig für Meßbrücke	
50	Druckgas - Normalkondensator 500 kV 50 pF	
22	Erdschleife Cu 50 mit Erdschleife	
21	Auto-Zündkabel	
20	Alu - Rohr 50 x 47	
19	Strommesser 1,6 A Drehesen K 10	
18	Strommesser 1,6 A Drehesen K 10	
17	Verdichtungs - Widerstand zum Voltmeter	
16	Wattmeter K 15 5 A 100 220 V	
15	Kompensations - Stromwandler	
14	Faradaykäfig mit eingebauten Umschaltern	
13	Voltmeter Drehesen K 10 25 mV	
12	Induktionswiderstand 500 Ω 30 mV	
11	Kompensations - Kondensator 500 kV 600 pF	
10	Meßfunkenstrecke fahrbar	
9	Dämpfungswiderstand von Meßfunkenstrecke	
8	Strommesser 1,6 A Drehesen K 10	
7	Strommesser 1,6 A Drehesen K 10	
6	Kompensations - Druckspeise 500 kV	
5	Schutzwiderstand 10 kΩ	
4	Hochspannungstrafa 760 500 000 V 250 kVA	
3	Betriebsschutz vor Hochspannungstrafa	
2	Stufentransformator 760 0 760 V 250 kVA	
1	Hauptschutz vor Stufenstrafa	
Teil	Benennung	

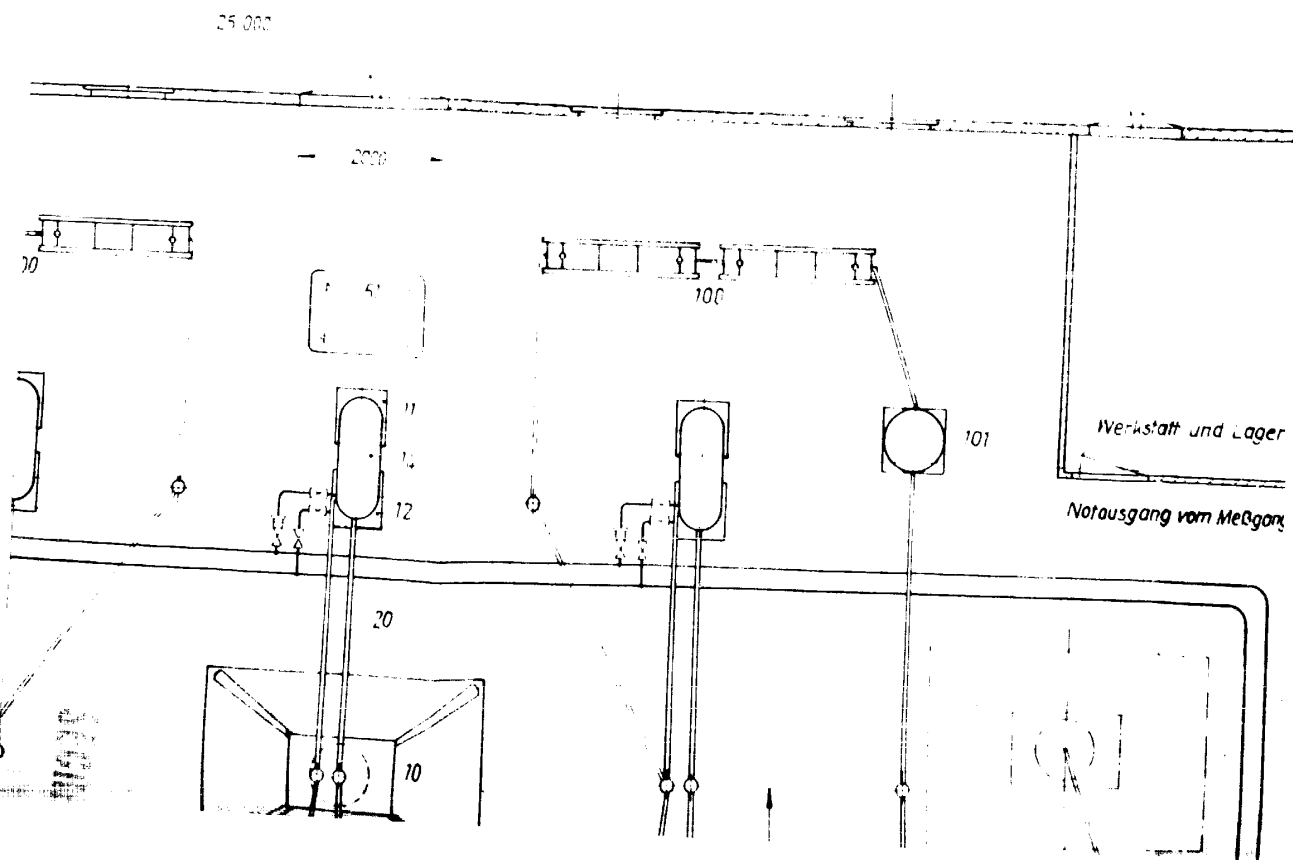
Korona - Meßanlage 500 kV **Übersichts-Schaltplan**

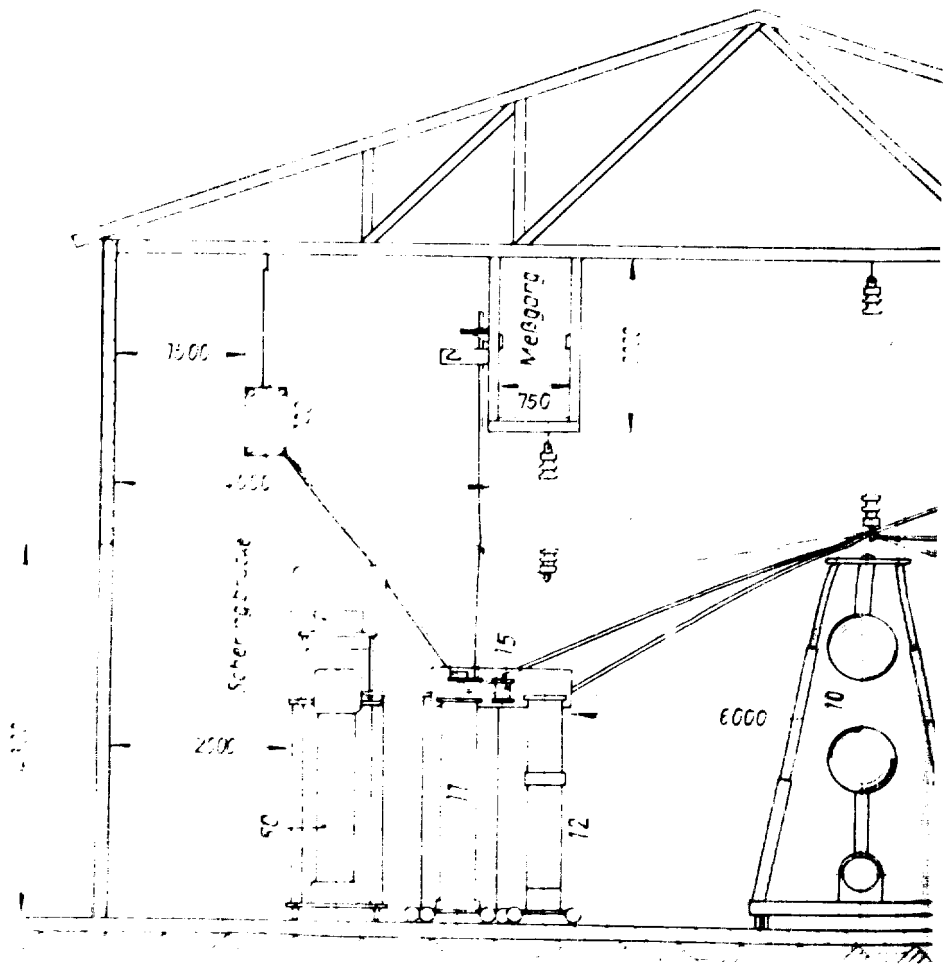
VEM/TRO
Lbe 7518
31.12.49



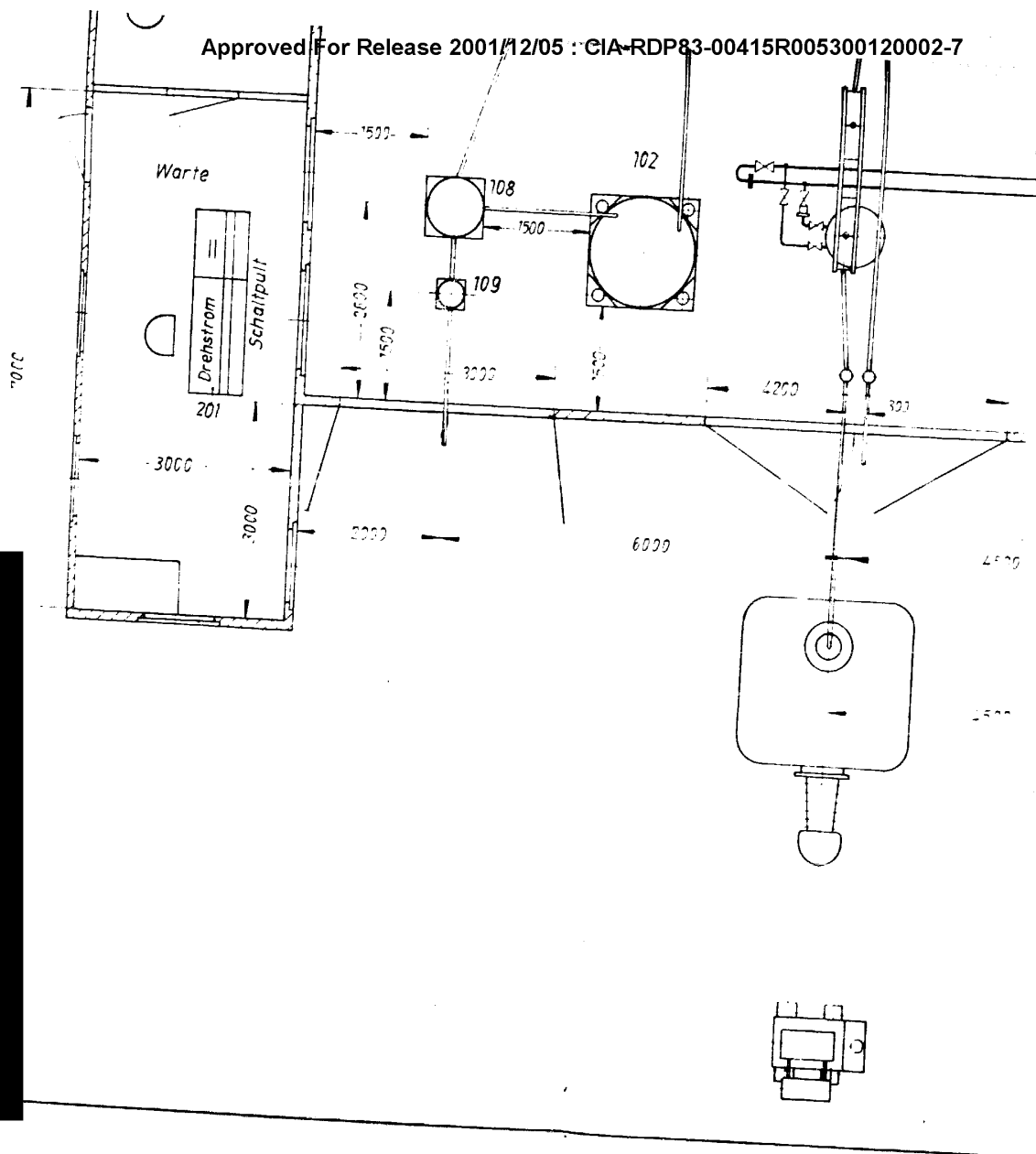
275	Sicherungselement 6 A		
274	Meidelampe 220 V		
273	Meidelampe 220 V		
272	Stromungsanzeiger		
271	Luftermotor 380 V 17 kW 1400 U/min		
270	Meidelampe 220 V		
269	Tastenschalter doppelt		
268	Meidelampe 220 V		
267	Tastenschalter doppelt		
266	Sicherungselement 6 A		
265	Sicherungselement 25 A		
264	Schalterschütz 10		
263	Motor für Kreiselpumpe 220 V 2,5 kW 2800 U/min		
262	Umlaufpumpe 2 m³/h 150 W		
261	Transformator für Steuerkreise		
260	Not-Schalterschütz 380 V 1000 A		
177	Spannungsteilerwiderstand		
176	Drehregler 380/220 V 250 VA		
175	Schalter 380 V EA dreipolig		
174	Kathodenstrahloszillograph		
173	Meßwiderstand 300 Ω 0,5 A		
172	Drehzahl-Strommesser 0,1 A K110		
171	Faradaykäfig		
170	Voltsmeter		
169	Meßwiderstand 500 kV		
168	Gleichstrom-Kondensator 500 kV 33000 pF		
167	Stromer 380 V 10 A dreipolig		
166	Strom-Abgleichsgerät 380 V 10 A		



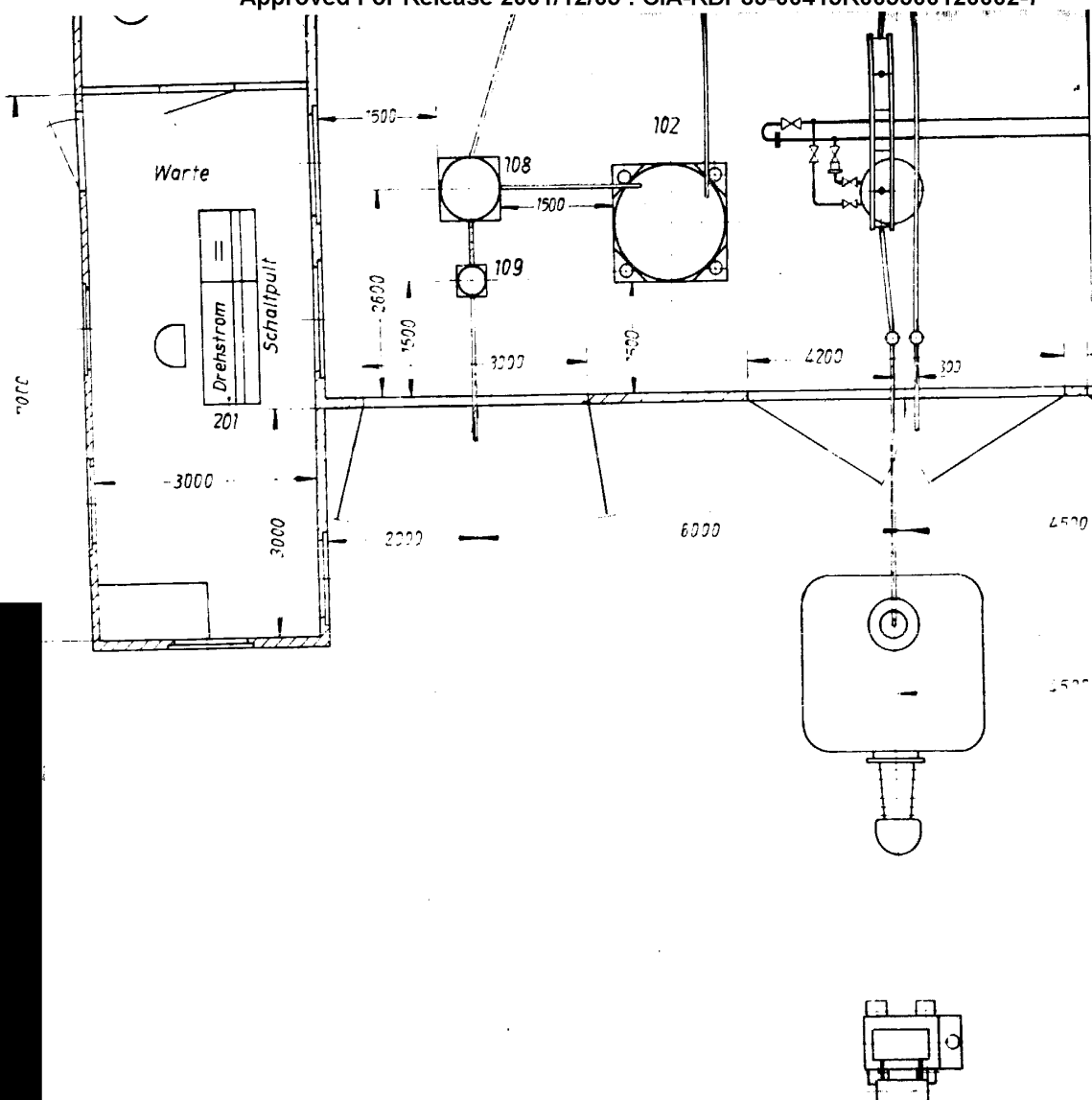




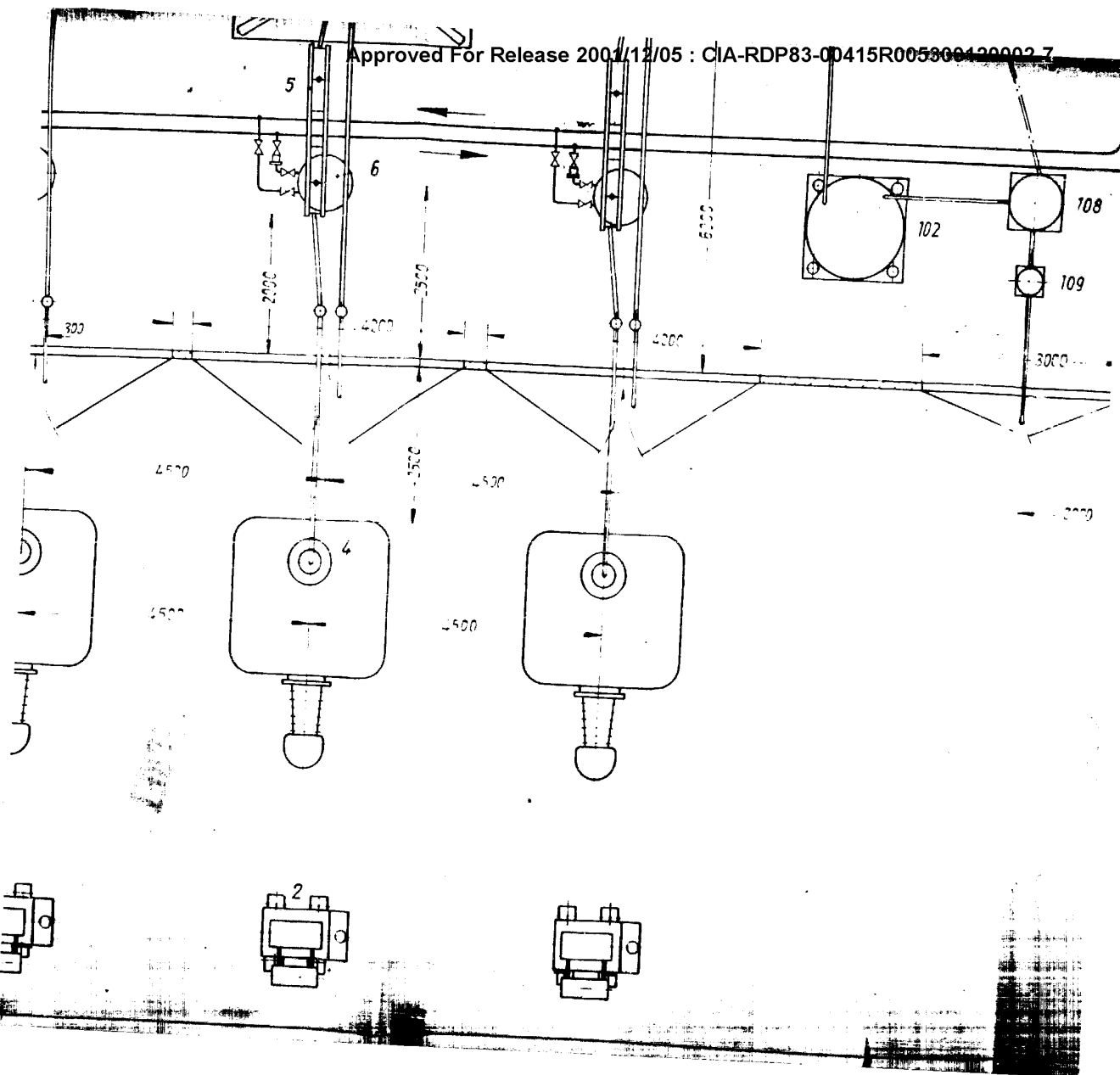
25X1X



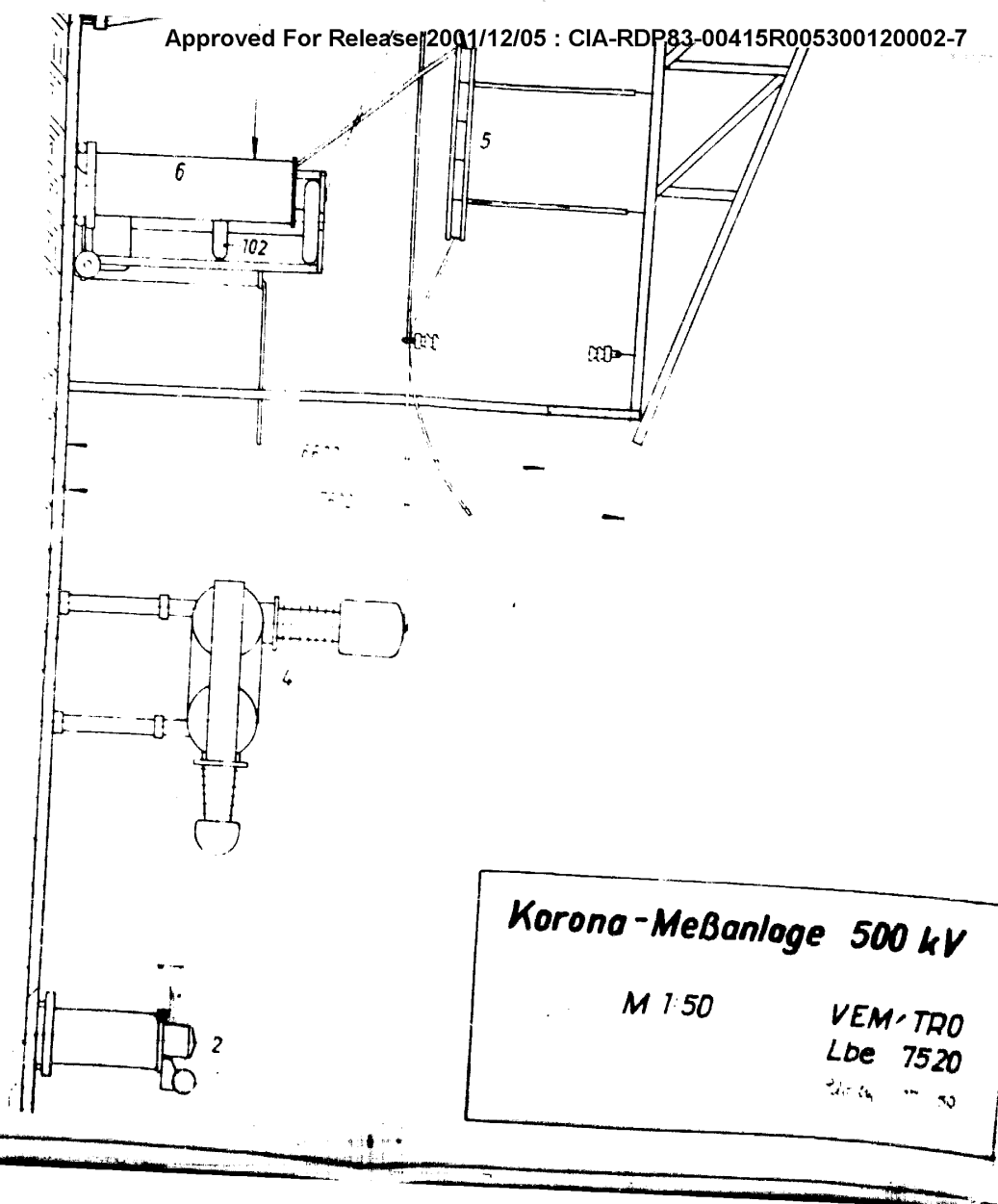
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



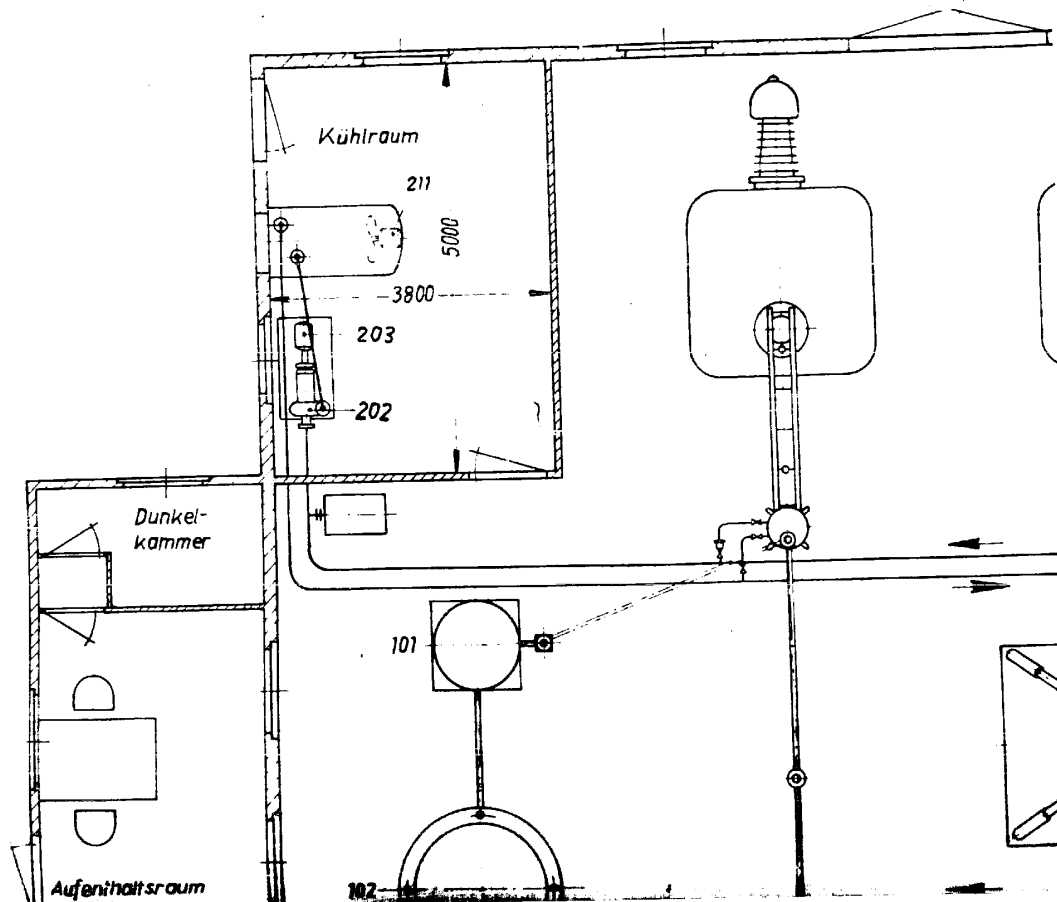
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



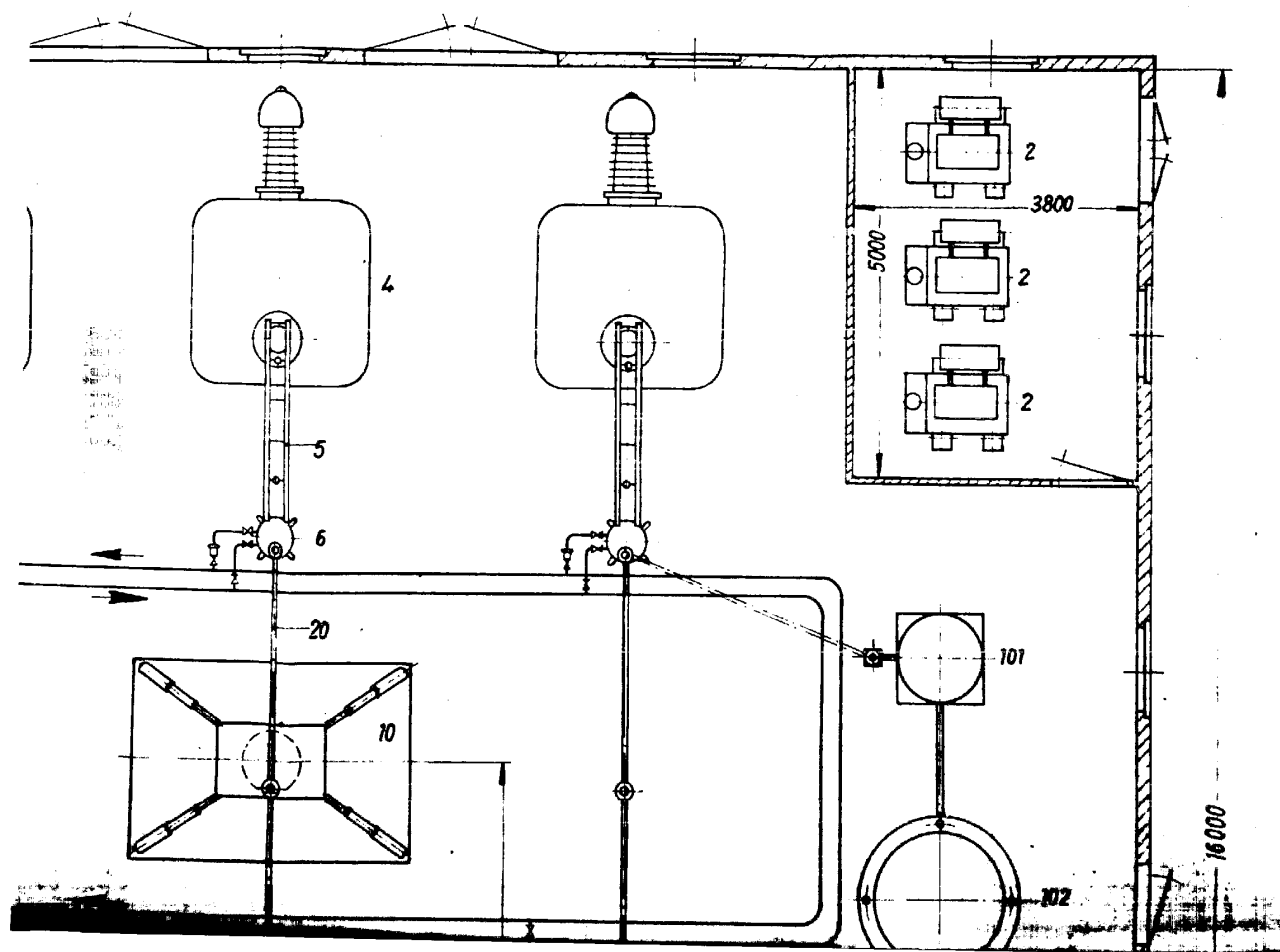
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7

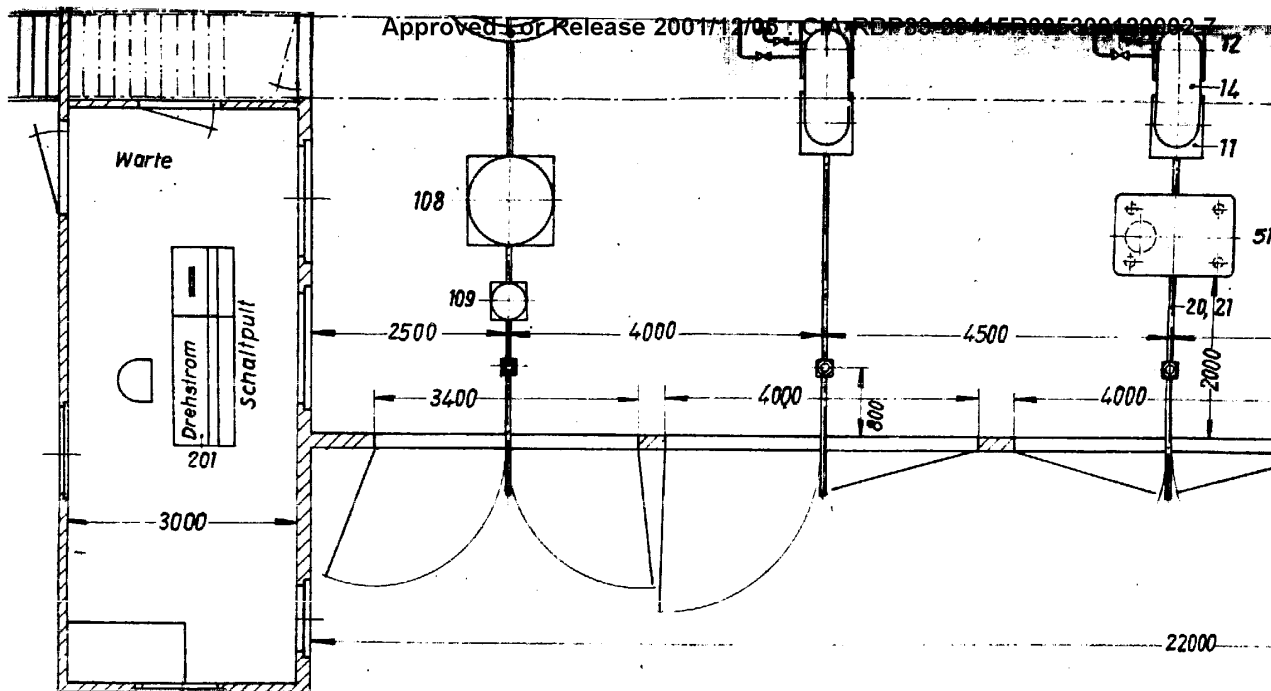


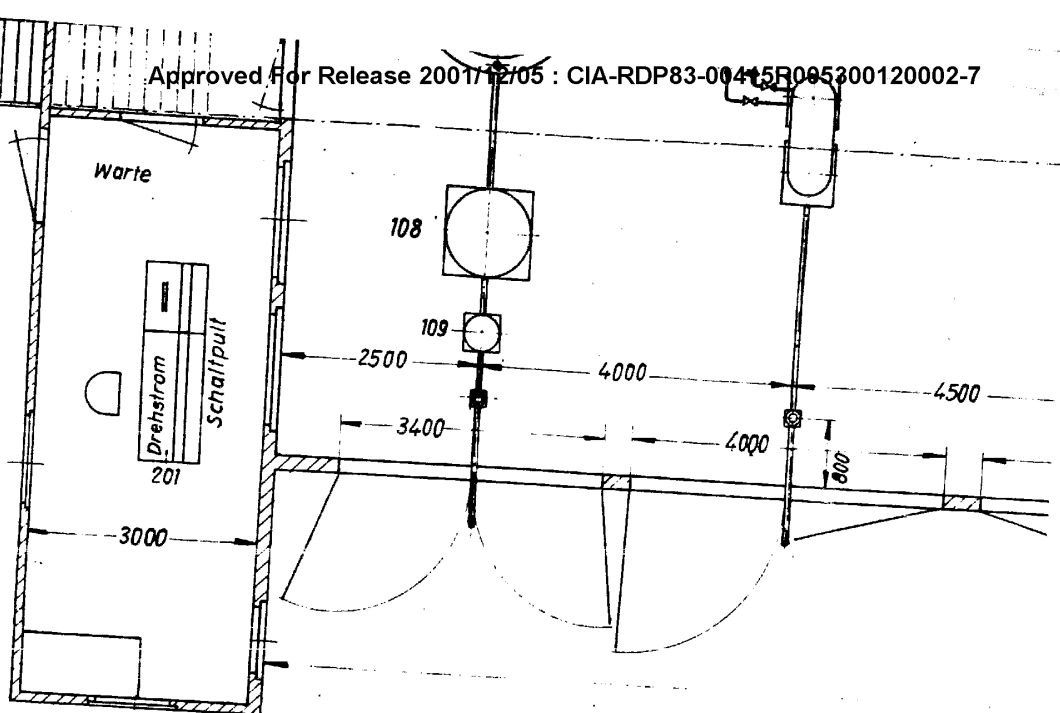
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



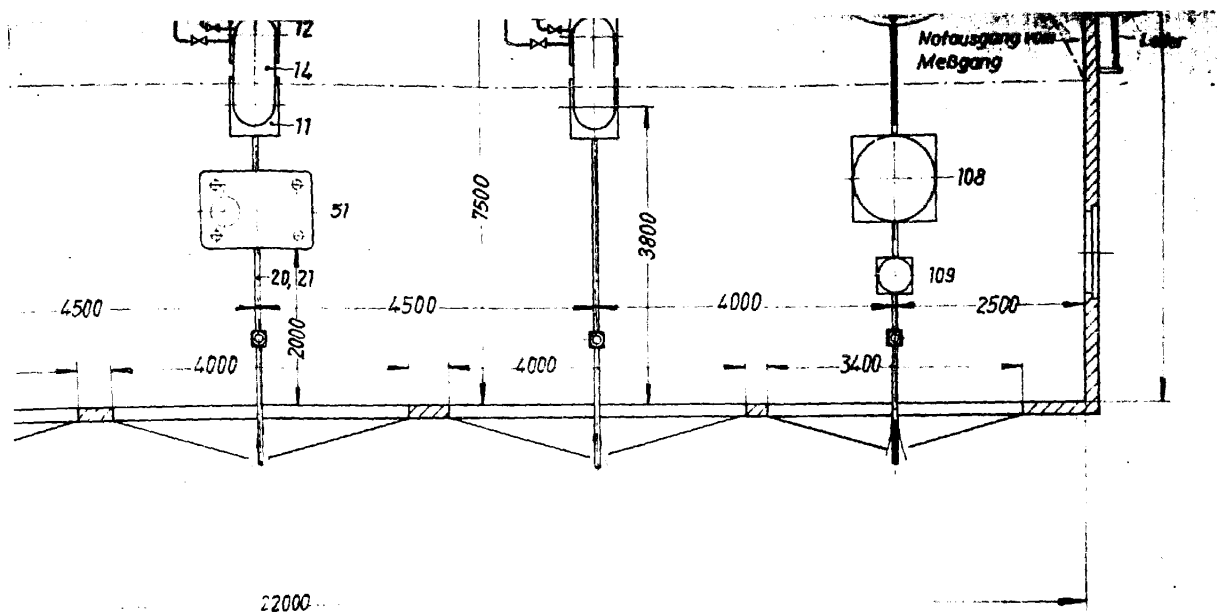
Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



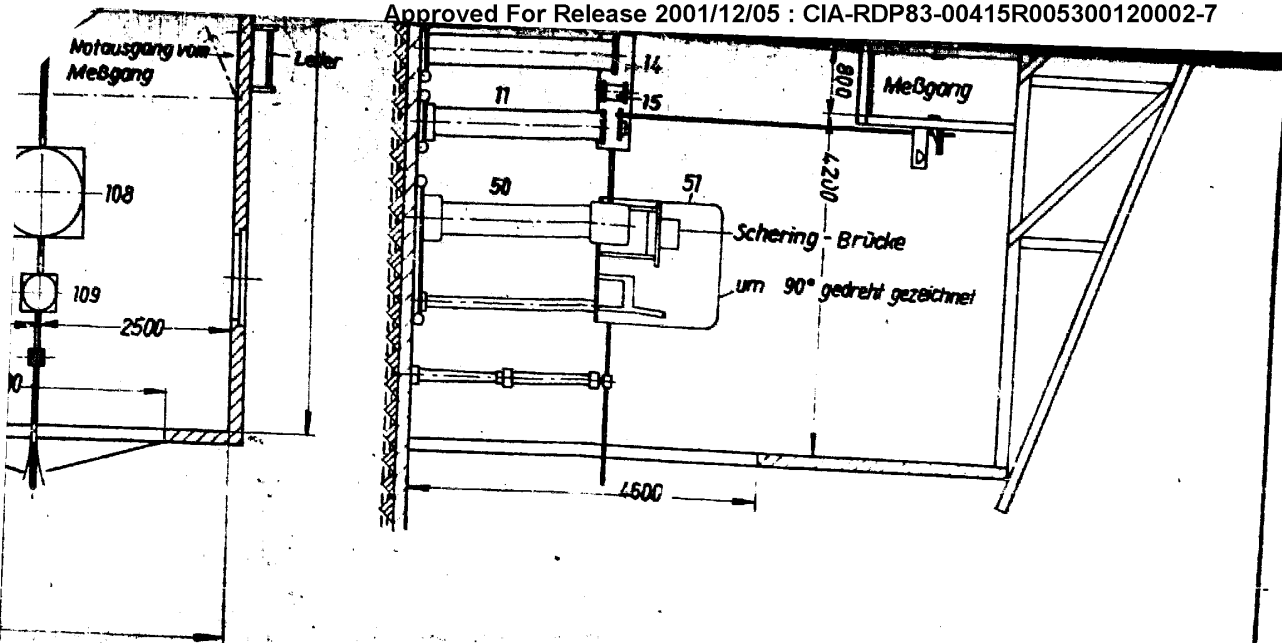




Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300120002-7



Korona-Meßanlage 500 kV

M 1:50

VEM:TR

Ldc 757

11.1